



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 141501

**PEMODELAN PARAMETER DINAMIS TANAH (VS, G)  
BERDASARKAN METODE *MULTICHANNEL  
ANALYSIS OF SURFACE WAVE* (MASW) SEBAGAI  
EVALUASI TAPAK LOKAL SURABAYA**

**NOVIEN GHOZIANA INDANARTHA  
NRP. 3714100065**

**Dosen Pembimbing I  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001**

**Dosen Pembimbing II  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 001**

**Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**





**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

---

**TUGAS AKHIR - RF 141501**

**PEMODELAN PARAMETER DINAMIS TANAH (VS, G0)  
BERDASARKAN METODE MULTICHANNEL  
ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW) SEBAGAI  
EVALUASI TAPAK LOKAL SURABAYA**

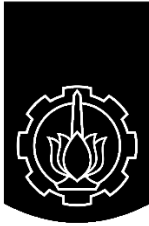
**NOVIEN GHOZIANA INDANARTHA  
NRP. 3714100065**

**Dosen Pembimbing I  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001**

**Dosen Pembimbing II  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002**

**Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

---

**UNDERGRADUATE THESIS - RF141501**

**Dynamic Soil Parameter ( $V_s$ ,  $G_0$ ) Modelling Based  
On Multichannel Analysis Of Surface Wave  
(MASW) Method For Evaluation of Site Local  
Surabaya**

**NOVIEN GHOZIANA INDANARTHA  
NRP. 3714100065**

**Dosen Pembimbing I  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001**

**Dosen Pembimbing II  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002**

**Geophysical Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Geoengineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

**PEMODELAN PARAMETER DINAMIS TANAH ( $V_s$ ,  $G_0$ )  
BERDASARKAN DATA METODE *MULTICHANNEL  
ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)* SEBAGAI  
EVALUASI TAPAK LOKAL SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 25 Juli 2018

Menyetujui,

1.  ..... (Pembimbing I)  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760128 200003 1001
2. ..... (Pembimbing II)  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002
3. ..... (Penguji I)  
Anik Hilyah S.Si., M.T.  
NIP. 19790813 200812 2 002
4.  ..... (Penguji II)  
Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.  
NIP. 19840911 201404 1 001

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Pemodelan Parameter Dinamis Tanah (Vs, G) Berdasarkan Metode *Multichannel Analysis Of Surface Wave* (MASW) Sebagai Evaluasi Tapak Lokal Surabaya”** adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 08 Juni 2018

Novien Ghoziana Indanartha  
NRP. 3714100065

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **Pemodelan Parameter Dinamis Tanah ( $V_s$ , $G_0$ ) Berdasarkan Data Metode *Multichannel Analysis Of Surface Wave* (MASW) Sebagai Evaluasi Tapak Lokal Surabaya**

Nama Mahasiswa : Novien Ghoziana Indanartha  
NRP : 03411440000065  
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002

## **ABSTRAK**

Keberadaan sesar aktif *baribis-kendeng fold-thrust zone* di Surabaya dapat berisiko menyebabkan adanya potensi gempa bumi. Mayoritas wilayahnya merupakan endapan aluvium. Tingkat kerusakan dan bahaya gempabumi sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal. Beberapa kasus gempabumi yang telah terjadi menunjukkan bahwa kerusakan lebih parah terjadi pada dataran alluvial dibandingkan dengan daerah perbukitan. Oleh sebab itu, diperlukan evaluasi tapak lokal yang merupakan upaya pengurangan risiko bencana dengan menganalisis seluruh potensi bahaya pada suatu daerah secara lengkap. Evaluasi tapak lokal dilakukan dengan mengukur parameter dinamis tanah yang merupakan respon tanah terhadap gempa bumi yaitu kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan modulus geser ( $G_0$ ). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pemodelan nilai  $V_s$  dan  $G_0$  serta kondisi tapak lokal Surabaya. Penelitian dilakukan di 45 titik di Surabaya dengan metode *multichannel analysis of surface wave* karena ketepatan dan resolusi yang tinggi pada struktur dekat permukaan. Penelitian ini menggunakan 24 geophone yang disusun memanjang dengan jarak 4 m dan jarak offset 5 m. Akuisisi dilakukan dengan 5 kali shot dan dilakukan dengan durasi stacking count 3 kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $V_{s30}$  Surabaya sebesar 176 m/s – 294 m/s merupakan kategori kelas C dan D berdasarkan Eurocode8. Sebaran hasil pemodelan nilai  $V_s$  dan  $G_0$  yang rendah yaitu 100-200 m/s dan <100-200 Mpa mengalami penebalan dari arah Barat menuju ke Utara dan dari arah Timur ke Selatan menunjukkan nilai  $V_s$  dan  $G_0$  yang rendah pada kedalaman 0-30 m. Berdasarkan hasil pengolahan dapat ditarik kesimpulan bahwa mayoritas daerah Surabaya khususnya daerah Utara lebih berisiko terhadap efek gempa bumi.

*Kata kunci : MASW, Surabaya, Parameter Dinamis*

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **Dynamic Soil Parameter (Vs, G0) Modelling Based On Multichannel Analysis Of Surface Wave (MASW) Method For Evaluation of Site Local Surabaya**

Student Name : Novien Ghoziana Indanartha  
NRP : 03411440000065  
Departement : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Supervisors : Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002

## **ABSTRACT**

The existence of an active baribical fault-kendeng fold-thrust zone in Surabaya can potentially lead to potential earthquakes. The majority of its territory is alluvium deposits. The extent of damage and dangers of earthquakes is strongly influenced by local geological conditions. Several cases of earthquakes that have occurred show that more severe damage occurs in alluvial plains compared with hilly terrain. Therefore, it is necessary to evaluate the local site which is a disaster risk reduction effort by analyzing all potential hazards in a region completely. Local site evaluation is done by measuring soil dynamic parameters which is the earth response to earthquake that is the speed of shear wave (Vs) and shear modulus (G0). This study aims to determine the results of modeling Vs and G0 values and local tread conditions Surabaya. The study was conducted at 45 points in Surabaya with multichannel analysis of surface wave method due to the high accuracy and resolution of the near surface structure. This study used 24 geophones arranged lengthwise with a distance of 4 m and a distance of 5 m offset. The acquisition is done with 5 shots and done with the duration of stacking count 3 times. The results showed that the value of Vs30 Surabaya of 176 m / s - 294 m / s is class category C and D based on Eurocode8. Distribution of low Vs and G0 value modeling is 100-200 m / s and <100-200 Mpa thickening from west to north and from east to south indicates low Vs and G0 value at 0-30 m depth. Based on the results of processing can be drawn the conclusion that the majority of Surabaya area, especially the northern region more risky to the effects of earthquakes.

*Keyword : MASW, Surabaya, Dynamic Parameter*

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Pemodelan Parameter Dinamis Tanah (Vs, G) Berdasarkan Metode Multichannel Analysis Of Surface Wave (MASW) Sebagai Evaluasi Tapak Lokal Surabaya” telah terselesaikan. Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat dan ridho-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat berjalan dan terselesaikan dengan baik
2. Ayah dan Mama atas segala doa, pengorbanan, kesabaran, dan kasih sayang yang telah diberikan tanpa rasa lelah.
3. Riza Ghozlina Indanartha, Nanang Shodiq, dan Nisrina Farah Indanartha atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama hidupnya.
4. Semua keluarga atas motivasi dan dukungan yang sangat besar.
5. Dr. Dwa Desa Warnana dan Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
6. Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penulis menjalani proses perkuliahan
7. Seluruh Tim MASW (Ardianto, Moh. Fani Fatkhur Rohman, Husnia Nur Annisa, Mochammad Novritsa Zulfikar) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
9. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya.
10. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 08 Juni 2018

Novien Ghodziana Indanartha  
NRP. 3714100065

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## DAFTAR ISI

COVER DALAM .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah.....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
1.5    Penelitian Sebelumnya di daerah Surabaya.....	3
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    Kondisi Regional Surabaya.....	7
2.1.1    Stratigrafi Surabaya .....	7
2.1.2    Geologi Surabaya .....	9
2.2    Parameter Dinamis .....	12
2.2.1    Kecepatan Gelombang Geser (Vs) .....	13
2.2.2    Modulus Geser (G0) .....	15
2.3 <i>Multichannel Analysis Surface Wave</i> .....	15
2.3.1    Pengertian.....	15
2.3.2    Metode Akuisisi.....	16
2.3.3    Dispersi Gelombang Rayleigh.....	17
2.3.4    Analisa Inversi Gelombang Rayleigh.....	23
BAB III.....	25
METODE PENELITIAN .....	25
3.1    Lokasi penelitian .....	25
3.2    Alat dan Bahan .....	25
3.3    Desain Akuisisi .....	27
3.4    Langkah Kerja.....	27
3.5    Pengolahan Data.....	32
3.5.1    Filtering Data Menggunakan Seisee.....	32
3.5.2    Pengolahan Data MASW.....	32
BAB IV.....	37
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	37

4.1	Analisa Data.....	37
4.2	Hasil.....	45
4.3	Pembahasan .....	58
BAB V.....		63
PENUTUP.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....		65
LAMPIRAN.....		69
RIWAYAT PENULIS.....		71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Patahan Waru dan Patahan Surabaya (Tim Pusgen, 2017) .....	1
Gambar 1.2 Peta Vs30 Kota Surabaya dengan Metode Mikrotremor (Mufida,dkk. 2013). .....	4
Gambar 1.3 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk,2017) .....	5
Gambar 2.1 Kolom stratigrafi Sesar Kendeng (De genevraye, 1972).....	9
Gambar 2.2 Peta geologi Kota Surabaya oleh Sukardi dkk, 1992 dimodifikasi	11
Gambar 2.3 Sesar di Pulau Jawa (Tim Pusgen,2017) .....	12
Gambar 2.4 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (Park,2007) .....	16
Gambar 2.5 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie,2007).....	18
Gambar 2.6 Trace gelombang Rayleigh pada saat keadaan non-dispersif dan pada keadaan dispersif (Foti et al., 2015).....	18
Gambar 2.7 Contoh kurva dispersi Gelombang Rayleigh dengan normal dispersi (Dal Moro et al., 2014) .....	19
Gambar 2.8 Model lapisan bumi dengan parameter kecepatan gelombang geser (vs ), kecepatan gelombang kompresional (vp), densitas (ρ), dan ketebalan (h). (Xia dkk., 1999).....	23
Gambar 3.1 Titik lokasi pengukuran di Surabaya.....	26
Gambar 3.2 Desain akuisisi MASW .....	27
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian seacar umum .....	28
Gambar 3.4 Diagram alir pengambilan data .....	29
Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data MASW .....	30
Gambar 3. 6 Diagram alir pemodelan 3D .....	31
(b) Gambar 3.7 Hasil Inversi (a) Profil Vs 1D (b) Stratigrafi dan nilai error ...	35
Gambar 3.8 Hasil nilai vs dan ketebalan masing-masing lapisan .....	35
Gambar 4.1 Peta persebaran nilai Vs30 di Surabaya .....	47
Gambar 4.2 Penampang 3D Vs dari arah Barat ke Utara (W-N).....	48
Gambar 4.3 Penampang 3D Vs dari arah Selatan ke Barat (S-W).....	48
Gambar 4.4 Penampang 3D Vs dari arah Timur ke Selatan (E-S).....	49
Gambar 4.5 Penampang 3D Vs dari arah Utara ke Timur (N-E).....	49
Gambar 4.6 Penampang 3D G0 dari arah Barat ke Utara (W-N) .....	50
Gambar 4.7 Penampang 3D G0 dari arah Timur ke Selatan.....	51
Gambar 4.8 <i>Intersection</i> penampang 2D (1-1' = <i>Inline</i> 20 ; 2-2' = <i>Inline</i> 26 ; 3-3' = <i>Inline</i> 65 ; 4-4' = <i>Xline</i> 70 ; 5-5' = <i>Xline</i> 30 ) .....	51
Gambar 4.9 <i>Inline</i> 20 (intersection 1-1') pada model Vs.....	52

Gambar 4.10 Inline 26 (Intersection 2-2') pada model Vs .....	52
Gambar 4.11 Inline 65 (Intersection 3-3') pada model Vs .....	53
Gambar 4.12 Xline 70 (Intersection 4-4') pada model Vs .....	53
Gambar 4.13 Xline 30 (Intersection 5-5') pada model Vs .....	54
Gambar 4.14 Crossection pada Xline 60 dan Inline 60 pada model Vs .....	55
Gambar 4.15 Inline 20 (Intersection 1-1') pada model G0 .....	55
Gambar 4.16 Inline 26 (Intersection 2-2') pada model G0 .....	56
Gambar 4.17 Inline 65 (Intersection 3-3') pada model G0 .....	56
Gambar 4.18 Xline 70 (Intersection 4-4') pada model G0 .....	57
Gambar 4.19 Xline 30 (Intersection 5-5') pada model G0 .....	57
Gambar 4.20 Crossection pada Xline 70 dan Inline 65 pada model G0 .....	58

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Klasifikasi nilai Vs30 menurut Eurocode 8 (Cen, 2004 ; SIST EN, 2005 ; Carvalho,2008 ;Mufida dkk., 2013).....	144
Tabel 4.1 Hasil Vs30 Pengukuran MASW Surabaya .....	37

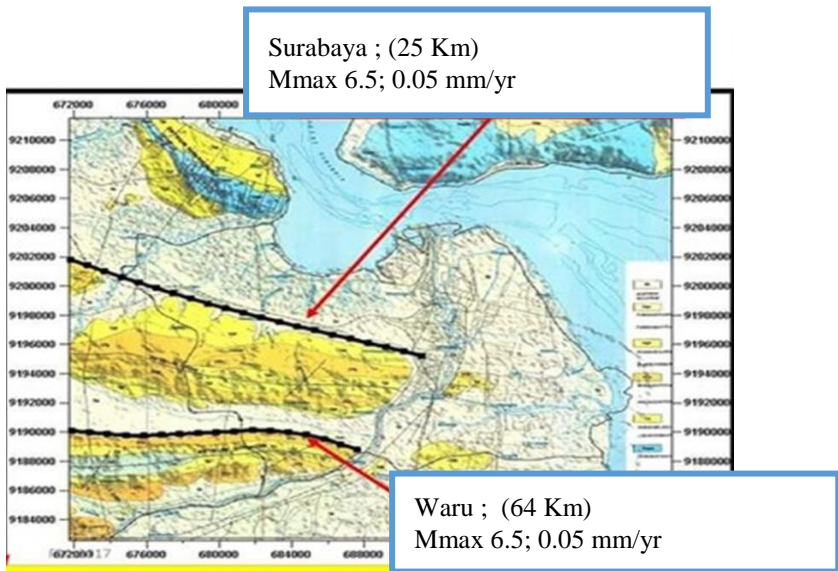
***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Surabaya merupakan Ibukota Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kota ini memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi dengan jumlah penduduk sebesar 2.848.583 jiwa pada tahun 2015 dengan luas wilayah 350,54 km<sup>2</sup> (Badan Pusat Statistik, 2015). Kota ini dilewati oleh sesar aktif *Baribis-Kendeng fold-thrust zone* yang memanjang mengarah Barat ke Timur di bagian Utara Pulau Jawa yaitu segmen Surabaya sepanjang 25 Km dan segmen Waru sepanjang 64 Km dengan pergerakan 0,05 mm/tahun dan Magnitudo maksimum 6,5 yang ditunjukkan pada gambar 1.1 (Pusgen, 2017). Oleh karena itu, Surabaya merupakan daerah yang rawan akan terjadinya guncangan gempa bumi.



Gambar 1.1 Patahan Waru dan patahan Surabaya (Tim Pusgen, 2017)

Berdasarkan sejarah gempa bumi yang terjadi di sekitar Surabaya mulai tahun 1800 hingga tahun 2016, rata-rata memiliki intensitas sebesar VII MMI. Intensitas tersebut, setiap orang diharuskan untuk lari ke luar dan geataran dirasakan di dalam kendaraan yang bergerak. Penelitian PGA oleh (pusgen, 2017) menyatakan bahwa Surabaya berada pada bahaya gempa bumi kelas 4 (dirasakan kuat oleh penduduk dan gedung mengalami guncangan).

Tingkat kerusakan dan bahaya gempabumi sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal atau efek tapak lokal. Beberapa kasus gempabumi yang telah terjadi menunjukkan bahwa kerusakan lebih parah terjadi pada dataran alluvial dibandingkan dengan daerah perbukitan (Nakamura, dkk., 2000). Menurut peta geologi regional lembar Surabaya oleh Soekardi (1992), 80% wilayah Surabaya merupakan endapan aluvial, dan sisanya merupakan tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Batuan sedimen lunak mampu memperkuat getaran (Tuladhar, 2002). Oleh karena itu, rata-rata kerusakan gempa bumi lebih parah dibandingkan dengan daerah dengan permukaan dekat yang terbentuk oleh batuan keras (Bahri, 2016). Amplifikasi merupakan peristiwa perbesaran gelombang akibat gelombang gempa bumi yang merambat melalui lapisan tanah yang lebih lunak dibandingkan lapisan awal yang dilaluinya. Hal ini yang meningkatkan potensi kerusakan akibat gempa bumi (Aisyah dkk., 2011). Oleh sebab itu, diperlukan evaluasi kondisi lokal atau tapak lokal Surabaya terhadap efek gelombang seismik.

Evaluasi tapak lokal merupakan upaya pengurangan risiko bencana pada suatu daerah dengan menganalisis seluruh potensi bahaya secara lengkap. Pemahaman terhadap potensi bahaya dapat meningkatkan kapasitas persiapan menghadapi risiko yang mungkin ditimbulkan. Oleh karena itu, kajian untuk mengetahui potensi bahaya di suatu daerah sangat penting dilakukan. (Sunardi et al., 2012).

Evaluasi dapat dilakukan dengan menganalisa perilaku dimanis tanah pada bawah permukaan dangkal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan pengukuran parameter dinamis tanah. Parameter ini berupa kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan modulus geser ( $G$ ), merupakan hal penting dalam analisis respon dinamis tanah terhadap gelombang gempa bumi (Luna, 2000).

Penentuan parameter dinamis tanah dapat dilakukan dari pengujian lapangan dengan metode cross-hole, down-hole, spectral analysis surface wave (SASW), seismic cone penetration test, dan multichannel analysis surface wave (MASW). Metode MASW merupakan metode seismik non-destructive yang merekam perambatan gelombang permukaan (gelombang rayleigh) (Ariestianty dkk, 2009).

Penelitian dengan menggunakan metode MASW (Multichannel Analysis Surface Wave), yang merupakan salah satu metode seismik dengan ketepatan dan resolusi yang tinggi pada struktur dekat permukaan untuk pemodelan struktur geologi bawah permukaan bumi (Park, 2000; Kanli, 2006). Pemetaan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) konvensional dengan metode geofisika borehole memiliki kekurangan pada segi biaya dan waktu. Sedangkan Penelitian  $V_s$  menggunakan mikrotremor memiliki kekurangan karena data yang diperoleh berupa gelombang alami bumi sehingga rentan terpengaruh oleh noise atau gelombang yang tidak diinginkan baik akibat aktivitas alam maupun manusia (Erik, 2009).



Aplikasi MASW telah diterapkan oleh banyak peneliti salah satunya Tokeshi dkk. (2013) melakukan analisis MASW untuk karakterisasi dan kepadatan tanah sebagai informasi penting dalam bidang geoteknik dalam mendesain bangunan tahan guncangan. Penentuan modulus geser tanah menggunakan metode MASW telah dilakukan oleh Arienstianty, dkk tahun 2009.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil pengukuran parameter dinamis tanah di daerah Surabaya?
2. Bagaimana hasil pemodelan parameter dinamis tanah di daerah Surabaya?
3. Bagaimana kondisi tapak lokal daerah Surabaya?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Parameter dinamis yang digunakan adalah kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan modulus geser ( $G$ ).
2. Pemodelan parameter dinamis kecepatan gelombang geser dan modulus geser dibuat secara 3D.
3. Lokasi penelitian adalah Surabaya, dengan titik sebanyak 45.
4. Perhitungan modulus geser ( $G$ ) menggunakan densitas batuan yang sama sebesar  $1800 \text{ kg/m}^3$  sesuai *software* karena pada proses inversi input densitas sebagai model awal tidak berubah dan nilai  $1800 \text{ kg/m}^3$  merupakan nilai densitas batuan sedimen.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

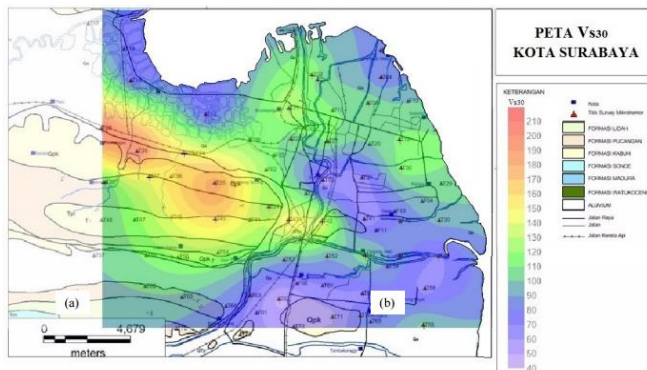
1. Mengetahui nilai parameter dinamis yang berupa kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan modulus geser ( $G$ ) tanah di daerah Surabaya
2. Mengetahui hasil dari pemodelan parameter dinamis tanah daerah Surabaya.
3. Mengetahui kondisi tapak lokal daerah Surabaya

Hasil-hasil penelitian yang berada dalam ruang lingkup tujuan di atas akan merupakan modal dasar baik dalam pengembangan penelitian lebih lanjut maupun dalam aplikasinya untuk pengembangan wilayah dan potensi pariwisata, ekonomi dan sumber daya alam di daerah tersebut.

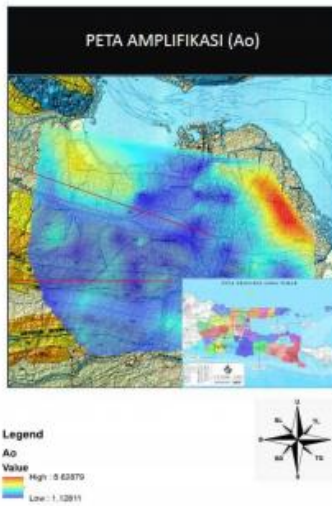
## **1.5 Penelitian Sebelumnya di daerah Surabaya**

Penelitian  $V_s30$  di Surabaya telah dilakukan oleh Mufida,dkk pada tahun 2013 menggunakan metode mikrotremor. Hasil penelitian meunjukkan bahwa sepanjang daerah Surabaya bagian Timur sampai dengan Surabaya bagian Barat memiliki nilai frekuensi natural yang rendah, faktor amplifikasi tinggi dan nilai

Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Anindya putri dkk pada tahun 2017 (Rahmaningtyas, Purwanto, & Widodo, 2017) dengan metode mikrotremor untuk mengidentifikasi PGA (Peak Ground Acceleration) dan kerentanan tanah Surabaya. Hasil identifikasi nilai PGA pada sumber gempa Surabaya-Kendeng didapatkan nilai 0.2g hingga 4.3g. Untuk nilai PGA di batuan dasar didapatkan nilai dalam rentan 0.1g sampai 0.9g. Tergolong dalam skala IV-VIII dengan gempa yang dapat dirasakan tergolong besar atau violent. Gambar 1.3 merupakan hasil penelitian berupa peta amplifikasi daerah Surabaya yang menunjukkan bahwa daerah Utara Surabaya merupakan daerah dengan amplifikasi tinggi terutama di wilayah Surabaya Timur yang merupakan daerah endapan alluvium (Rahmaningtyas dkk, 2017).



Gambar 1.2 Peta Vs30 Kota Surabaya dengan Metode Mikrotremor  
(Mufida,dkk. 2013).



Gambar 1.3 Peta Amplifikasi Surabaya Metode Mikrotremor (Rahmaningtyas dkk,2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kondisi Regional Surabaya**

Surabaya adalah kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Surabaya terletak di tepi pantai Utara Pulau Jawa dan berhadapan dengan Selat Madura serta Laut Jawa dengan koordinat 7°16'LU 112°43'BT. Luas wilayah Kota Surabaya 33.048 Ha. Wilayah Surabaya secara umum terbagim menjadi 4 wilayah yaitu Surabaya Pusat, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Utara, dan Surabaya Selatan. Secara administratif, Kota Surabaya terbagi dalam 31 Kecamatan, 163 Kelurahan, 1.363 Rukun Warga, dan 8.909 Rukun Tetangga. Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah antara 0 – 20 meter di atas permukaan laut, sedangkan pada daerah pantai ketinggiannya berkisar antara 1–3 meter diatas permukaan laut. Sebagian besar Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah antara 0 – 10 meter (80,72 % atau sekitar 26.345,19 Ha) yang menyebar di bagian Timur, Utara, Selatan dan pusat kota. (Bahri, 2012).

##### **2.1.1 Stratigrafi Surabaya**

Daerah penelitian merupakan daerah yang dilewati oleh anticlinal Kendeng atau Sesar Kendeng yang membentang sejauh 250 km dengan lebar 40 km. Pringgoprawiro (1983) membagi morfologi Zona Kendeng menjadi tiga satuan yang masing-masing membentang dari Barat ke Timur, yaitu:

1. Satuan morfologi perbukitan bergelombang, ditunjukan oleh jajaran bukit-bukit rendah dengan ketinggian antara 50-100 meter di atas permukaan laut yang mencerminkan lipatan batuan sedimen. Satuan ini nyaris secara keseluruhan disusun oleh litologi napal abu-abu.
2. Satuan morfologi perbukitan terjal, yang merupakan inti Pegunungan Kendeng dengan ketinggian rata-rata 350 meter di atas permukaan laut, tipe genetic sungainya adalah tipe konsekuen, subsekuen, dan insekuen. Litologi yang menyusun satuan ini, sebagian besar adalah batugamping dan batupasir.
3. Satuan morfologi dataran rendah, yang disusun oleh endapan alluvial yang terdapat di Ngawi (Bengawan Solo) dan dataran Sungai Brantas di Timur.

Zona Kendeng merupakan bagian tengah dari Cekungan Jawa Timur. Sebagian besar litologinya menunjukkan pengaruh lingkungan laut dalam. Menurut Pringgoprawiro (1983), stratigrafi Zona Kendeng dibagi kedalam unit-unit sebagai berikut:

1. Formasi Pelang terdiri dari napal abu-abu yang massif sampai belapis yang kaya fosil dan batulempung abu-abu dengan sisipan bagu gamping bioklastik. Lapisan ini diendapkan pada lingkungan neritic dan berumur Oligosen akhir-Miosen awal.

2. Formasi Kerek terdiri dari endapan turbidit dengan ketebalan 800 m, sebagian besar terbentuk oleh lapisan yang menghalus dan menipis ke atas dengan tipe struktur sedimen arus densitas. Litologinya terdiri atas batupasir tuffaan, batulempung, napal, dan batugamping. Formasi ini berumur Miosen awal-Miosen akhir.
3. Formasi Kalibeng (Kalibeng Bawah) terdiri atas napal abu-abu kehijauan kaya fosil dengan sisipan tuf berlapis tipis. Sedimen ini diendapkan pada lingkungan batial. Bagian atas dari Formasi Kalibeng (anggota atasangin) terdiri atas perlapisan batu pasir tuffaan berukuran halus-kasar, tuff putih, dan breksi vulkanik. Sedimen ini diendapkan oleh mekanisme turbidit. Formasi ini berumur Miosen akhir-Pliosen.
4. Formasi Sonde (Kalibeng atas) dibedakan atas Formasi Sonde bagian atas dan Formasi Sonde bagian bawah. Formasi Sonde bagian bawah (Anggota Klitik) didominasi oleh perlapisan napal pasir, batupasir gampingan, dan tuff. Formasi Sonde bagian atas terdiri atas batugamping mengandung Balanus dan Grainstone. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal dan berumur Pliosen.
5. Formasi Pucangan terdiri atas batupasir-konglomeratan, batupasir, batupasir tuffaan, dan lempung hitam yang mengandung moluska air tawar. Di Zona Kendeng bagian Barat dan tengah, Formasi Pucangan berkembang sebagai fasies daratan. Sedangkan di bagian Timur Zona Kendeng, Formasi Pucangan merupakan endapan laut dangkal. Formasi ini berumur Pliosen akhir - Pleistosen awal.
6. Formasi Kabuh terdiri dari perlapisan batupasir kasar dengan perlapisan silang-siur, fosil vertebrata, lensa konglomerat, dan tuff. Di Zona Kendeng bagian Barat dan tengah, Formasi Kabuh diendapkan pada lingkungan darat, sedangkan di Zona Kendeng bagian Timur Formasi Kabuh mempunyai fasies yang berbeda-beda, fasies darat berangsur-angsur berubah menjadi fasies laut yang makin ke atas berubah ke batuan vulkanik yang diendapkan pada lingkungan pantai. Formasi ini berumur Pleistosen.
7. Formasi Notopuro terdiri dari endapan lahar, tuff, dan batu pasir tuffaan berumur Pleistosen yang diendapkan pada lingkungan darat.

Gambar 2.1 merupakan gambar kolom stratigrafi pada zona kendeng yang menjelaskan urutan formasi beserta umur batumannya.

UMUR		ZONASI BLOW	KLASIFIKASI HURUF	SATUAN BATUAN		KOLOM	PEMERIAN			
J. TH				FOR- MASI	ANGGOTA					
2	PLEIS- TOSEN	N 23	T g h	NOTOPURO			Endapan lahar, tufa, batupasir tufaan Endapan sungai, cross bed. Sed. Piroklasik Batupasir Lempungan			
		N 22		KABUH						
5	PLIOSEN	N 21		KALIBRENG ATAS	PUCANGAN			Napal, gampingan. Batupasir tufaan vulkanismengandung Ba- lanus, Moluska, gamping koral, gamping Globigerina.		
		N 20			KLITIK					
		N 19		KALIBRENG BAWAH				Napal Globigerina, tak berlapis, sisipan konglomerat, batupasir tufaan, greaded beading, parallel laminasi.		
10	M I O S E N	N 18	T f	K E E R E K	B A N Y U W U R P		Gamping tufaan, calkarenit, calsinadite, berlapis-lapis.			
		N 17				KEREK		Tufa dan lempung.		
		N 16				SENTUL		Selang-seling napal, lempung dan batupasir tufaan, calkarenit dibagian atas.		
		N 15								
		N 14								
		N 13								
		N 12	T a	P E L A N G						
		N 11								
		N 10								
		N 9								
N 8										
15	M I O S E N	N 7	T a	P E L A N G						
		N 6								
		N 5								
		N 4								
		P 22 (N 3)								T o
		P 21 (N 2)								
		P 20 (N 1)								
20	M I O S E N	P 19	T e d							
		P 18								
25	OLIGOSSEN									

Gambar 2.1 Kolom stratigrafi Sesar Kendeng (De genevraye, 1972)

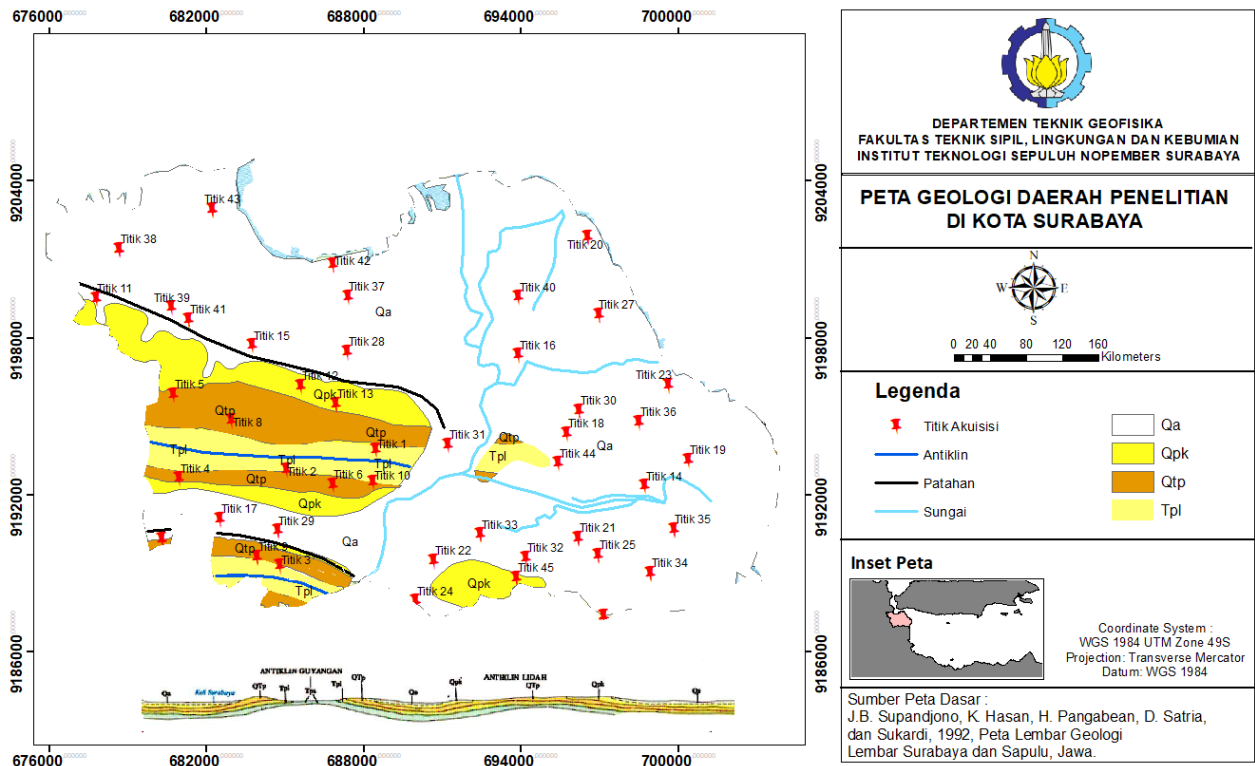
### 2.1.2 Geologi Surabaya

Surabaya merupakan daerah yang didominasi oleh dataran rendah hasil endapan sedimen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. 80% wilayahnya berupa endapan alluvial yang sisanya berupa tanah perbukitan rendah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Tanah endapan alluvial tersebut berupa sungai, rawa, delta, endapan pantai, dan campuran dari endapan-endapan tersebut. Endapan sungai yang didominasi oleh endapan pasir dengan sedikit lanau dan lempung, endapan rawa yang didominasi oleh butiran lanau-lempung dengan sedikit bahan organik, dan endapan pantai yang didominasi oleh endapan berukuran pasir halus yang mengandung kerang. Endapan delta merupakan endapan percampuran antara endapan sungai, endapan rawa, endapan pantai

sehingga lapisan tanah akan berselang-seling. Tanah hasil pelapukan batuan tua umumnya mempunyai potensi kembang-susut sangat tinggi. Dataran rendah meliputi wilayah Surabaya Timur, Utara dan Selatan terbentuk dari endapan alluvial sungai dan endapan pantai. Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. (Sukardi, 1992; Bahri 2012)

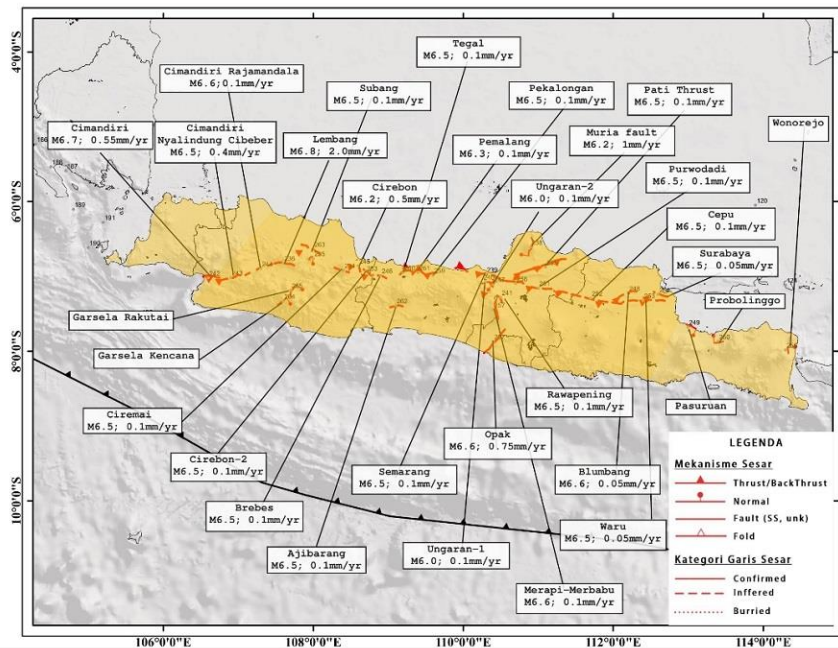
Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung-gunung berapi yang berada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir (0,075 mm – 0.2 mm) dan kerikil (2 mm – 75 mm). Bagian Timur dan Utara sampai sepanjang Selat Madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai  $\pm 5$  km. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat. Secara geologi Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan Formasi Lidah, Pucangan, dan Formasi Kabuh. Batuan dasar untuk Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (pre-tertiary). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter (Sukardi, 1992; Bahri, 2012).





Gambar 2.2 Peta geologi Kota Surabaya oleh Sukardi dkk, 1992 dimodifikasi Novien, 2018

Berdasarkan pada gambar 2.3, Kota Surabaya dilewati oleh jalur *baribis-kendeng fold-thrust zone* yang memanjang mengarah Barat ke Timur di Pulau Jawa. Sesar ini merupakan sesar aktif yang memanjang dari Jawa Tengah bagian Utara mengarah menuju Jawa Timur bagian Utara. Segment dari jalur sesar tersebut yang melewati Surabaya adalah segment Surabaya sepanjang 25 Km dan segment Waru sepanjang 64 Km dengan pergerakan 0,05 mm/tahun dan Magnitudo maksimum 6,5 seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 (Pusgen, 2017). Salah satu fenomena geologi yang menarik di Surabaya adalah pembelokan sungai pada area antara dua antiklin yang tampak memiliki pergeseran lokasi. Hal tersebut menjadi suatu indikasi adanya sesar yang mengakibatkan sungai bergeser secara tidak wajar. (Riyantiyo N,D dkk.2017). Antiklin ditunjukkan pada gambar 2.1 yang memanjang dari Barat ke Timur.



Gambar 2.3 Sesar di Pulau Jawa (Tim Pusgen,2017)

## 2.2 Parameter Dinamis

Parameter dinamis dari tanah merupakan respon tanah terhadap beban dinamik (dynamic loading) yang bentuknya bervariasi seperti gempa bumi, angin kecepatan tinggi mendadak, siklon, mesin di dalam struktur dan lain-lain. Untuk memahami perilaku struktur bawah permukaan setiap kemungkinan beban dinamis diperlukan sifat dinamis tanah, termasuk modulus geser maksimum,

kurva rasio modulus geser dinamis dan kurva hubungan rasio redaman rasio redaman dengan regangan geser harus diperhitungkan. (Luna, 2000).

Respon seismik dari endapan tanah alami yang berbeda mencerminkan sifat dinamis material tanah yang berbeda. (Vucetic, 1992). Pengukuran sifat dinamis tanah dapat dilakukan dari in-situ sebaik hasil dari tes laboratorium. Lapangan atau tes in-situ mempunyai keuntungan karena tes laboratorium membutuhkan pembatasan dan penggabungan dari sampel tanah untuk tanah bebas yang hampir tidak mungkin dan struktur in-situ tanah terganggu saat tes laboratorium. Parameter dinamis yang penting ( $V_s$ ,  $V_{s30}$ , dan  $G_{max}$ ) dapat dievaluasi menggunakan MASW. (Sitharam, 2006).

Kecepatan gelombang S adalah salah satu konstanta dan dekat hubungannya dengan modulus young karena definisi yang paling koreprehensif dan akurat untuk kekakuan meliputi modulus young dan modulus geser. Dua moduli ini bisa didefinisikan sebagai massa jenis bahan dan 2 kecepatan seismik (poisson rasio)  $V_p$  dan  $V_s$ . (Sheriff, geldart, 1982).

Sifat kekakuan tanah dapat dinilai dari kecepatan gelombang gesernya, dimana keduanya menunjukkan hubungan yang elastik linier. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanahnya atau semakin keras dan padat. Kecepatan gelombang geser hanya berkaitan dengan kekakuan geser dari struktur tanah sedangkan pengaruh tingkat kejenuhan tanah pada kecepatan gelombang geser lebih terkait dengan kepadatan tanah. Semakin rendah tingkat kejenuhan tanah maka akan semakin tinggi nilai  $V_s$  dan  $G$  (Cho dan santamarina, 2001; Arienstianty, 2009).

### **2.2.1 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ )**

Karakteristik dinamik tanah seperti nilai  $V_s$  untuk kedalaman tanah dalam multi dimensi secara konvensional digunakan metode geofisika borehole untuk dilakukan mikrozonasi seismik (Mufida dkk, 2013). Estimasi nilai  $V_s$  dan estimasi distribusi kerusakan akibat gempa bumi sebagaimana diungkapkan oleh Roşer dan Gosar (2010) dapat dipergunakan untuk mitigasi gempa bumi dan penentuan standard bangunan tahan gempa.

Profil kecepatan gelombang geser kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi kekakuan lapisan paling atas tanah. Selanjutnya, dalam desain gempa, kecepatan gelombang geser merupakan parameter vital dalam kedua potensi likuifaksi dan penilaian amplifikasi tanah dan saat menentukan lokasi pemuatan gempa spesifik lokasi menurut Eurocode 8 (Bessason & Erlingsson, 2011; Lin, Chang & Chang, 2004).

Sebagian besar kerusakan akibat gempa terjadi karena adanya amplifikasi. Berdasarkan premis yang ditetapkan dari studi bahwa pengaruh paling dalam 30 m dan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) adalah indikator kekakuan terbaik, rata-rata  $V_s$  di 30 m atas (dilambangkan sebagai  $V_{s30}$ ) digunakan sebagai kriteria penting. Secara umum,  $V_{s30}$  yang lebih rendah akan dikenai amplifikasi yang lebih besar (dan mengalami lebih banyak kerusakan akibat gempa bumi).

Tabel 2.1 Klasifikasi nilai Vs30 menurut Eurocode 8 (Cen, 2004 ; SIST EN, 2005 ; Carvalho,2008 ;Mufida dkk., 2013)

Tipe Tanah	Uraian Gambaran Stratigrafi	Vs30 (m/s)
A	Batuan atau formasi lainnya,	>800
B	Endapan sand atau clay yang sangat padat, gravel, Pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman.	360-800
C	Endapan sand padat atau setengah padat yang tebal, gravel atau clay padat dengan beberapa puluhan hingga ratusan meter. Endapan tanah berbutir kasar kasar sedang atau tanah butiran halus menengah sedang	180-360
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah. Endapan tanah berbutir kasar dengan konsentris jelek atau tanah berbutir halus yang mengandung konsentris yang buruk	<180
E	Lapisan tanah terdiri aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs >800 m/s	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitan dan kadar air yang tinggi.	<100 (Indikasi)
S2	Endapan tanah likuifiable, dari clay yang sensitif, atau tanah alain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1	

### 2.2.2 Modulus Geser (G0)

Modulus geser atau modulus rigidity adalah parameter yang dihitung berdasarkan Vs menggunakan hubungan elastis sederhana, yaitu :

$$G0 = \rho \times Vs^2$$

Kepadatan massa sering diperkirakan atau diukur dengan sampel di bawah permukaan atau menggunakan korelasi. Modulus geser digunakan untuk melakukan pemodelan tanah yang lebih maju, dan respon dinamik interaksi struktur tanah. Modulus geser pada tingkat lowstrain yang diukur dengan teknik geofisika akan memberikan parameter elastis untuk analisis pondasi mesin atau teknik gempa. Kegunaan penting dari parameter ini adalah untuk menghitung frekuensi resonansi dan amplitudo getaran pada pondasi, interaksi tanah-struktur akibat beban dinamis, menentukan koefisien kekakuan tanah dibawah pondasi dan analisis perambatan gelombang. (Luna, 2000).

## 2.3 *Multichannel Analysis Surface Wave*

### 2.3.1 Pengertian

Metode geofisika selalu berkembang untuk berbagai macam kepentingan investigasi lapisan atau struktur tanah. Salah satunya adalah untuk investigasi dekat permukaan. Investigasi dekat permukaan mengalami perkembangan yang sangat pesat karena banyak sekali dibutuhkan untuk kepentingan geoteknik.

Pada awalnya, digunakan metode seismik konvensional untuk investigasi dekat permukaan. Namun dirasa kurang efektif, karena metode seismik konvensional ini memiliki frekuensi yang cukup tinggi (sekitar 50 Hz) sehingga penalaran wavelet nya tidak bisa mencapai kedalaman yang diinginkan, selain itu pada seismik konvensional juga terdapat banyak sekali sinyal yang tidak dibutuhkan dalam investigasi dekat permukaan (gelombang refraksi dan refleksi). Sehingga dalam pengolahan datanya dibutuhkan waktu yang cukup lama (Park dkk, 2007).

Pada awal tahun 1980, dikembangkan sebuah metode baru untuk kepentingan investigasi dekat permukaan yaitu SASW (Spectral Analysis of Surface Waves). Metode ini menggunakan sepasang geophone dalam analisisnya untuk mendapatkan informasi kecepatan gelombang geser (Park dkk, 1999). Namun metode ini juga tidak dapat memodelkan kecepatan gelombang geser dengan baik karena memiliki beberapa kelemahan yaitu (Foti dkk, 2015): (1) lamanya proses pengambilan data; (2) data yang didapatkan dari metode SASW memiliki sinyal noise yang lumayan tinggi dan susah dalam memisah noise tersebut dari datanya; (3) tidak mampu memisahkan mode dasar dan mode yang lebih tinggi, sehingga memiliki kemungkinan kesalahan identifikasi modenya.

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) adalah metode dekat permukaan yang cukup terkenal dan berkembang akhir-akhir ini. Metode ini sering dipakai karena bisa memberikan informasi kecepatan gelombang geser

(Vs) untuk investigasi struktur dekat permukaan secara efektif, murah, efisien dan mudah dalam pengolahannya. MASW memberikan informasi tentang kecepatan gelombang geser (Vs) 1D. Biasanya untuk pengambilan data digunakan frekuensi sumber 3-30 Hz dan menggunakan multichannel perekam (geophone) yang disusun memanjang. Perekam yang digunakan bisa sejumlah 12 atau 24 dengan jarak antar perekam sama. (Park dkk., 2007).

Metode MASW sangat populer dalam identifikasi zona-zona rawan guncangan gempa bumi, dan diklasifikasikan berdasarkan site class yang mengacu pada nilai kecepatan gelombang shear (Vs30) oleh Eurocode 8. MASW dapat dilakukan dalam 3 tahap yaitu (1) akuisisi; (2) ekstraksi kurva dispersi; (3) inversi kurva dispersi. Metode ini menghasilkan profil kecepatan gelombang geser (Vs) 1D. Dalam akuisisi nya, penggunaan alat per titik dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 yang menggambarkan tentang desain akuisisi MASW aktif. (Park dkk., 2007).

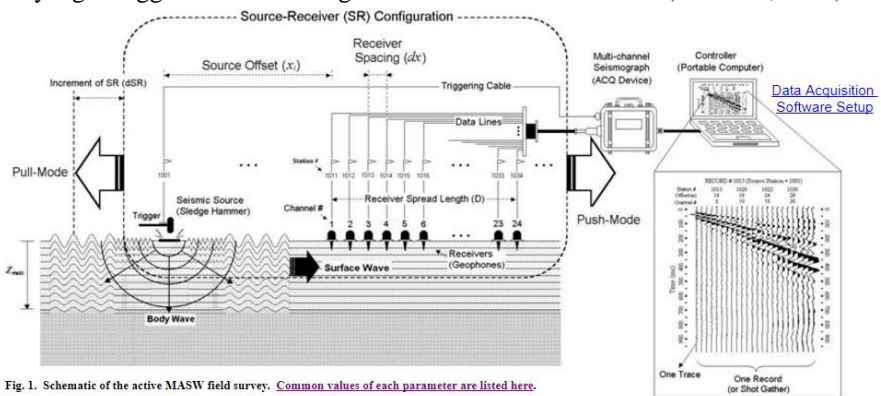


Fig. 1. Schematic of the active MASW field survey. [Common values of each parameter are listed here.](#)

Gambar 2.4 Ilustrasi desain akuisisi MASW aktif (Park,2007)

Gambar 2.4 merupakan ilustrasi desain akuisisi aktif menggunakan 24 geophone serta parameter-parameter saat dilapangan dan hasil dari pengukuran yang berupa gelombang.

### 2.3.2 Metode Akuisisi

Bergantung pada cara gelombang permukaan dihasilkan, terdapat 2 tipe MASW : aktif yaitu rencana yang ditetapkan dengan sumber yang berdampak tepat seperti palu godam, weight drop, sedangkan pasif dihasilkan oleh kultural dan alam yang tidak berhubungan dengan survei seperti lalu lintas dan gerakan tidal. Metode aktif MASW yang pertama dikenalkan merupakan model survei konvensional, mengumpulkan data pada sepanjang lintasan menggunakan sumber seismik aktif dan susunan receiver lurus. Metode pasif menggunakan gelombang permukaan yg dihasilkan oleh kultural dan alam seperti : petir, pergerakan arus, perubahan tekanan atmosfer, dan lain-lain. Metode MASW

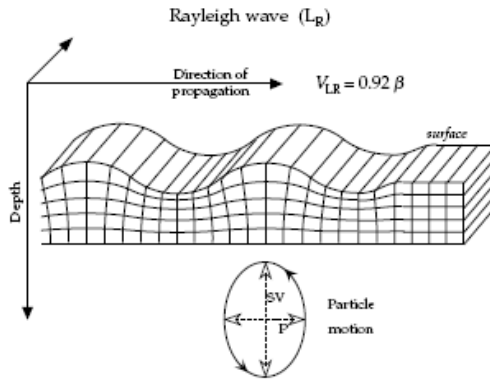
pasif dapat dibedakan menjadi dua yaitu metode remote pasif dan metode roadside. (Park dkk, 2007)

Metode remote pasif menggunakan susunan receiver 2D seperti silang atau melingkar untuk merekam gelombang permukaan pasif. Kelebihan dari metode pasif ini yaitu hasil evaluasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang akurat tapi operasi lapangan lebih intensif dan membutuhkan spasi yang luas pada susunannya. Metode ini merupakan pilihan terbaik jika dibutuhkan profiling kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 1D. Metode roadside pasif mengadaptasi susunan receiver lurus dan mencoba untuk menggunakan gelombang permukaan yg dihasilkan dari lalu lintas lokal. Kegunaan metode ini salah satunya untuk mengatasi keterbatasan yang didapat dengan metode remote pasif. (Park dkk, 2007).

### **2.3.3 Dispersi Gelombang Rayleigh**

Gelombang seismik merambat secara mekanik ke dalam medium lapisan bumi yang merupakan gelombang elastis atau mekanik yang ditimbulkan akibat regangan medium elastis. Berdasarkan sistem penjalarannya, gelombang seismik dibagi menjadi dua bagian, yaitu: gelombang badan dan permukaan. Energi gelombang seismik 67 % berupa energi gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini, digunakan untuk estimasi kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman. Selanjutnya, nilai gelombang geser ini, dapat digunakan untuk mengetahui sifat (porositas, densitas, saturasi air dan jenis batuan) struktur bawah permukaan. (Solihan dkk, 2009)

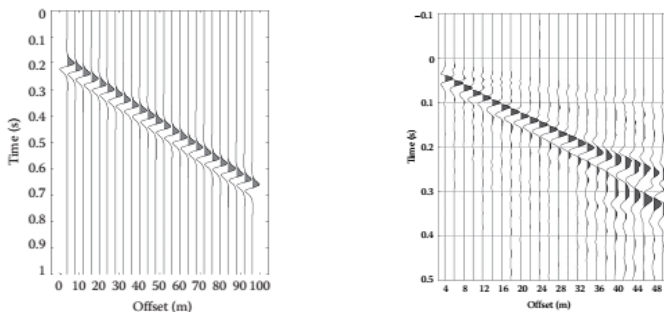
Gelombang rayleigh adalah jenis gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gerakan partikel pada wavefront gelombang rayleigh terdiri atas kombinasi gelombang P dan SV pada bidang vertikal dengan pola gerakan partikel secara ellipse retrograde seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. (Solihan dkk, 2009).



Gambar 2.5 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007)

Gelombang Rayleigh merupakan salah satu jenis gelombang permukaan yang merambat pada medium half space. Karakteristik lain dari gelombang Rayleigh adalah amplitudonya menurun atau berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman di bawah permukaan. Umumnya memiliki frekuensi rendah dengan spektrum yang tidak tajam. Gelombang Rayleigh merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah yang diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik. Sebab, gelombang Rayleigh mempunyai sifat yang unik, yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi (Solihan, 2009).

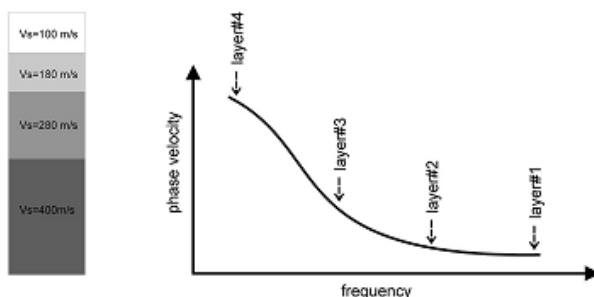
Gambar 2.6 bagian kiri memperlihatkan trace gelombang Rayleigh pada keadaan non-dispersif (homogen, isotropik), terlihat jika responnya tidak mengalami perubahan baik terhadap kedalaman maupun terhadap frekuensi. Sedangkan Gambar 2.6 bagian kanan menunjukkan pada keadaan terdispersi (heterogen, isotropik), terlihat jika responnya mengalami perubahan frekuensi dengan fungsi kedalaman.



Gambar 2.6 Trace gelombang Rayleigh pada saat keadaan non-dispersif dan pada keadaan dispersif (Foti et al., 2015)



Dari sifat dispersi gelombang Rayleigh ini, dapat diidentifikasi struktur ke-heterogenitasan lapisan. Dispersi ini dapat disajikan dengan membuat kurva antara kecepatan fase dan frekuensi. Pada Gambar 2.7 telah ditunjukkan contoh permodelan kurva dispersi pada sebuah medium heterogen, isotropik. Medium yang digunakan mengandung lapisan yang memiliki densitas yang bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Pembacaan kurva dispersi dimulai dari ujung kurva sebelah kanan.



Gambar 2.7 Contoh kurva dispersi Gelombang Rayleigh dengan normal dispersi (Dal Moro et al., 2014)

Dalam ruang setengah homogen, kecepatan gelombang Rayleigh tidak bergantung pada frekuensi, yaitu gelombang Rayleigh tidak menyebar dalam media homogen. Namun, gelombang Rayleigh tersebar dalam media berlapis; komponen gelombang dengan panjang gelombang yang berbeda (dan karena itu frekuensi yang berbeda) memiliki kedalaman penetrasi yang berbeda dan menyebar pada kecepatan yang berbeda. Kecepatan perambatan komponen frekuensi individu disebut sebagai kecepatan fase (VR) (Evrett, 2013; Park dkk., 1997). Kecepatan kelompok (Vg) gelombang adalah kecepatan di mana amplop paket gelombang menyebar melalui medium (Evrett, 2013).

Metode gelombang permukaan pada tahun 1950 dan 60 an menggunakan vibrator monotonik yang menarik pada frekuensi tunggal ( $f$ ) pada suatu waktu, jarak ( $L_f$ ) antara dua amplitudo maxima berturut-turut diukur dengan memindai permukaan tanah dengan sensor. Kemudian, kecepatan fase yang sesuai ( $C_f$ ) dihitung sebagai  $C_f = L_f * f$ . Pengukuran ini kemudian diulang untuk frekuensi yang berbeda untuk membuat kurva dispersi. Asumsi yang mendasari pendekatan ini adalah dominasi gelombang-permukaan  $M_0$  di lapangan.

Pendekatan ini diperbesar pada awal tahun 1908 berupa metode analisis spektral gelombang permukaan (SASW) agar lebih efisien. Alih-alih mencoba

mengukur jarak  $L_f$ , ia mencoba untuk mengukur perbedaan fasa ( $dp$ ) untuk frekuensi ( $f$ ) antara dua receiver jarak yang diketahui terpisah dari hubungan:  $Cf = 2 * \pi * f / dp$  ( $\pi = 3.14159265$ ). Kemudian, diulang untuk frekuensi yang berbeda untuk membuat kurva dispersi. Asumsi yang sama dari dominasi gelombang  $M_0$  dari gelombang permukaan seperti yang digunakan pada masa lalu diadopsi dalam proses inversi berikutnya selama tahap awal metode SASW. Konsep kurva dispersi yang jelas, kemudian diperkenalkan pada awal tahun 1990an, metode MASW yang mencoba memperhitungkan kemungkinan pengaruh multi-modal selama proses inversi. Cara kurva dispersi dibangun, bagaimanapun, pada dasarnya tetap tidak berubah.

Pendekatan multichannel tidak mencoba menghitung kecepatan fase individual lebih dulu, namun membangun ruang gambar dimana tren dispersi diidentifikasi dari pola energi yang terkumpul pada ruang ini. Kemudian, kurva dispersi yang diperlukan diekstraksi dengan mengikuti tren gambar. Semua tipe gelombang seismik digambar merambat secara horizontal jika mereka mengambil energi signifikan yang terlihat dari intensitas relatif gambar. Pada proses penggambaran, rekaman multichannel pada domain waktu dan ruang ditransformasikan kedalam domain frekuensi-jumlah gelombang atau frekuensi-fase kecepatan. Metode  $fk$  bentuk pertama, sedangkan transformasi  $\pi$ -omega dan metode phase-shift adalah dua contoh tipe terakhir. Umumnya diketahui bahwa metode  $fk$  menghasilkan resolusi gambar terendah, sedangkan metode phase-shift mencapai resolusi yang lebih tinggi daripada metode  $\pi$ -omega. (Xia, Miller & Park, 1999).

Dasar dari metode analisis gelombang permukaan yang paling banyak adalah penentuan yang akurat dari kecepatan fase yang bergantung pada frekuensi dari mode dasar gelombang Rayleigh. Selain sebagai fungsi frekuensi, kecepatan fase gelombang Rayleigh berhubungan dengan beberapa sifat Bumi, yang terpenting adalah kecepatan gelombang geser lapisan tanah individu. Dengan demikian, dengan inversi kecepatan fase dispersi gelombang Rayleigh yang direkam, profil kecepatan gelombang geser untuk lokasi pengujian dapat diperoleh (Xia, Miller & Park, 1999).

Pembuatan kurva dispersi gelombang Rayleigh dilakukan untuk mengekstrak kurva dispersi dari data gelombang permukaan multichannel yang telah tercatat. Beberapa metode untuk ekstraksinya adalah : (misalnya McMechan & Yedlin, 1981; Park dkk., 1998; 1999).

1. Analisis *multichannel* menggunakan pendekatan frekuensi swept (Park dkk., 1999).
2. Metode *phase shift* (juga dikenal sebagai metode transformasi wavefield) (Park dkk., 1998).

Metode phase shift (juga dikenal sebagai metode transformasi gelombang) pertama kali dijelaskan oleh Park, dkk. pada tahun 1998. Metode ini adalah

teknik transformasi gelombang untuk mendapatkan spektra kecepatan fase (citra dispersi) berdasarkan shot gather impulsif multichannel (Park dkk., 1998).

Dengan menggunakan metode phase shift, sifat dispersi dari semua jenis gelombang (gelombang tubuh dan permukaan) yang terdapat dalam data yang terekam divisualisasikan dalam domain frekuensi-kecepatan fasa-transformasi energi (jumlah amplitudo gelombang). Berbagai mode gelombang permukaan dikenali oleh konten frekuensinya dan karakterisasi kecepatan fase pada setiap frekuensi. Sumber noise, yaitu gelombang tubuh dan gelombang refleksi, juga dikenali dengan konten frekuensinya dan perpindahan mereka melintasi susunan penerima. Kurva dispersi gelombang Rayleigh yang dibutuhkan diekstraksi dari citra dispersi untuk analisis lebih lanjut. Noise biasanya secara otomatis dihapus dalam proses ini (Park dkk., 2007).

Penguraian yang efisien dari data yang direkam ke dalam mode gelombang permukaan yang berbeda dan berbagai sumber noise merupakan keuntungan besar dari metode phase shift. Terlepas dari penghilangan noise secara otomatis, menjadi mungkin untuk mengamati karakteristik dispersi gelombang multi-modal permukaan, asalkan mode yang lebih tinggi sangat diminati selama perolehan data (Park dkk., 1998; Xia dkk., 2003).

Metode phase-shift dapat dibagi menjadi tiga tahap:

1. Transformasi Fourier dan Normalisasi Amplitudo.
5. Pencitraan dispersi.
6. Ekstraksi kurva dispersi.

Berikut ini merupakan langkah-langkah pengolahan menggunakan metode phase shift (Park dkk 1998; Ryden dkk., 2004):

1. Transformasi Fourier Cepat (FFT) diterapkan pada n-channel impulsif *shot gather* ( $U_j(t)$ ;  $j = 1; 2; \dots; n$ ), untuk menguraikan rekaman menjadi komponen frekuensi individu ( $\tilde{U}_j(\omega)$  ;  $j = 1; 2; \dots; n$ ).

$$U_j(t) \xrightarrow{FFT} \tilde{U}_j(\omega) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

2. Amplitudo setiap jejak rekam (dalam domain frekuensi) dinormalisasi untuk mendapatkan  $\bar{U}_{j, \text{norm}}(\omega)$ . Sebagai spektrum fase sinyal ( $P_j(\omega)$ ) Berisi semua informasi tentang sifat dispersinya, tidak ada informasi penting yang hilang.

$$\bar{U}_{j, \text{norm}}(\omega) = \frac{\tilde{U}_j(\omega)}{|\tilde{U}_j(\omega)|} = p_j(\omega)$$

3. Rentang kecepatan fase untuk pengujian telah ditetapkan.

$V_{R,t}$  : *Pengujian kecepatan gelombang rayleigh*

$$V_{R,t \min} \leq V_{R,t} \leq V_{R,t \max}$$

4. Untuk kecepatan fase pengujian tertentu dan frekuensi yang diberikan, jumlah pergeseran fasa yang diperlukan untuk mengimbangi waktu tunda sesuai dengan offset spesifik ditentukan.

$\Phi\chi_j$  : *Pergeseran fasa sesuai dengan  $\omega$  dan  $V_{R,t}$  yang diberikan*

$$\Phi\chi_j = \frac{\omega\chi_j}{V_{R,t}} = \frac{\omega(\chi_1 + (j-1)dx)}{V_{R,t}}$$

5. Pergeseran fasa (ditentukan pada langkah 4 untuk kecepatan fase pengujian yang diberikan) diterapkan pada jejak yang berbeda dari *shot gather* yang ditransformasikan yang kemudian ditambahkan untuk mendapatkan amplitudo *slant-stack* (penjumlahan) yang sesuai dengan setiap rangkaian  $\omega$  dan  $V_{R,t}$ .

$A_a(\omega, V_{R,t})$ : *Penjumlahan amplitudo untuk  $\omega$  dan  $V_{R,t}$  yang diberikan*

$$A_a(\omega, V_{R,t}) = e^{-i\phi x_1} \bar{U}_{1,\text{norm}}(\omega) + \dots + e^{-i\phi x_n} \bar{U}_{n,\text{norm}}(\omega)$$

6. Langkah 4 dan 5 diulang untuk semua komponen frekuensi yang berbeda dari transmisi *shot gather* yang dikumpulkan dengan cara pemindaian menggunakan berbagai kecepatan fase pengujian, misal mengubah  $V_{R,T}$  dengan penambahan kecil dalam kisaran yang ditentukan sebelumnya.

*Ulangi langkah 4 dan 5 untuk berbagai  $\omega$  dan  $V_{R,t}$*

7. Spektrum kecepatan fasa (citra dispersi) diperoleh dengan merencanakan penjumlahan amplitudo di frekuensi - kecepatan fasa - energi transformasi transformasi (jumlah amplitudo gelombang), baik dalam dua atau tiga dimensi. Nilai puncak (high-amplitudo band) diamati menampilkan karakteristik dispersi dari gelombang permukaan yang tercatat. (Ólafsdóttir, 2014)

$A_a(\omega, V_{R,t}) \xrightarrow{\text{ekstraksi nilai puncak}} \text{Kurva dispersi gelombang Rayleigh}$

### 2.3.4 Analisa Inversi Gelombang Rayleigh

Tujuan utama dari kegiatan eksplorasi geofisika adalah untuk membuat model bawah permukaan bumi dengan menggunakan data lapangan yang diukur pada permukaan bumi. Dari model bawah permukaan yang diperoleh, menggambarkan sifat fisis dari batuan yang diteliti. Sehingga pada akhirnya kita dapat mengkarakterisasi kondisi geologi bawah permukaan. Model yang kita dapat adalah representasi dari keadaan geologi bawah permukaan yang memiliki besaran fisis dan geometri tertentu (Grandis, 2009). Pemodelan inversi adalah pencarian parameter fisis bumi berdasarkan “data” yang kita peroleh dari akusisi. Pemodelan inversi biasa juga disebut sebagai tahapan data fitting karena dalam prosesnya kita mencari nilai parameter yang terbaik dan cocok dengan data pengamatan (data observasi).

Karakteristik dispersi dari model tanah berlapis bergantung pada beberapa kelompok sifat tanah, seperti jumlah dan ketebalan lapisan tanah dan sifat elastis setiap lapisan. Gambar 2.8 menunjukkan contoh umum dari model tanah berlapis. Sifat elastis setiap lapisan umumnya ditunjukkan oleh sifat fisik yang mudah diukur, yaitu kecepatan gelombang kompresional ( $V_p$ ), kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan densitas ( $\rho$ ) (Xia dkk., 1999 ). Sifat-sifat di dalam setiap lapisan diambil sebagai konstan dan lapisan terakhir diasumsikan setengah ruang (Xia dkk., 1999). Untuk model tanah berlapis, profil kecepatan gelombang geser memiliki efek dominan pada kurva dispersi mode fundamental, diikuti oleh ketebalan lapisan sehingga merupakan parameter yang signifikan (Xia dkk., 1999).

Free surface			
$v_{s1}$	$v_{p1}$	$\rho_1$	$h_1$
$v_{s2}$	$v_{p2}$	$\rho_2$	$h_2$
.	.	.	.
$v_{si}$	$v_{pi}$	$\rho_i$	$h_i$
.	.	.	.
$v_{sn}$	$v_{pn}$	$\rho_n$	infinite

Gambar 2.8 Model lapisan bumi dengan parameter kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), kecepatan gelombang kompresional ( $v_p$ ), densitas ( $\rho$ ), dan ketebalan ( $h$ ). (Xia dkk., 1999)

Gambar 2.8 merupakan model matematis untuk material elastis berlapis digunakan untuk menentukan kurva dispersi teoritis berdasarkan seperangkat parameter masukan yang diberikan yaitu kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), kecepatan gelombang kompresional ( $v_p$ ), densitas ( $\rho$ ), dan ketebalan ( $h$ ). Profil  $V_s$  dihitung dengan menggunakan inversi berbasis iterasi yang memerlukan data inversi dan estimasi nilai poisson ratio dan densitas. Set parameter yang berbeda dimasukkan ke dalam model dengan cara yang iteratif untuk mencari kurva dispersi teoritis yang paling sesuai dengan karakteristik dispersi yang diamati. Dengan demikian, masalah memperoleh profil kecepatan gelombang geser yang dapat diterima dapat diidentifikasi sebagai masalah optimasi multi parameter dimana tujuannya adalah untuk meminimalkan perbedaan antara kurva dispersi eksperimental dan teoritis. Kesalahan root mean square antara dua kumpulan data biasanya digunakan sebagai indikator perbedaan antara kurva penyebaran teoritis dan eksperimental. (Xia dkk., 1999).

Berbagai algoritma telah dikembangkan dan digunakan untuk inversi data gelombang permukaan eksperimental. Prosedur inversi yang mungkin dapat dibagi menjadi dua kategori; pencarian lokal dan prosedur pencarian global. Pembagian ini didasarkan pada bagaimana parameter model diperbarui antara iterasi selama pencarian parameter set yang paling mungkin. (Xia dkk., 1999).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi penelitian**

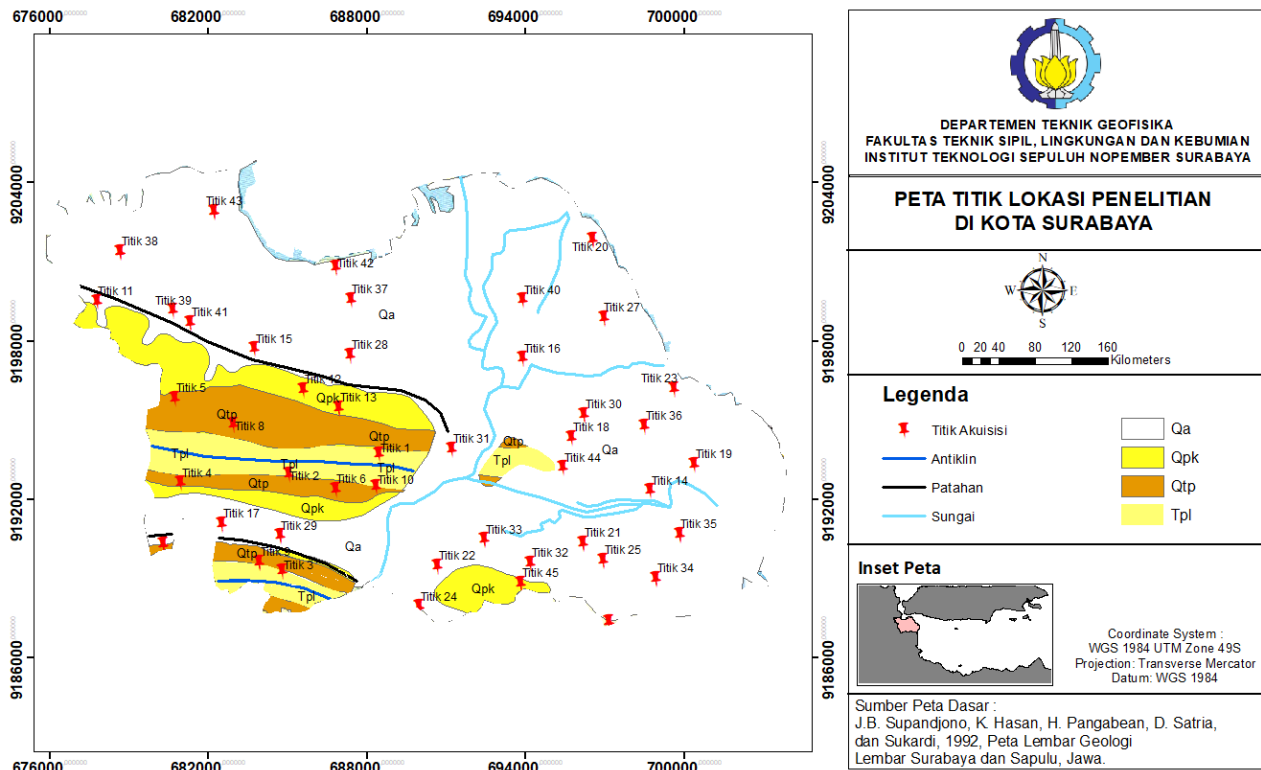
Lokasi penelitian dengan metode *multichannel analysis of surface wave* dilakukan di daerah Surabaya, Jawa Timur. Penelitian dilakukan di 45 titik yang tersebar di daerah Surabaya ditunjukkan oleh gambar 3.1. Titik penelitian tersebar berdasarkan hasil gridding dan pertimbangan geologinya.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat yang di gunakan dalam penyelidikan dilapangan adalah sebagai berikut:

1. Alat Seismik 1 set (Geosam)
2. GPS 2 buah
3. Handlytalky 2 buah
4. Geophone 24 buah
5. Palu seismik
6. Pelindung peralatan (payung)
7. Peta geologi daerah penelitian
8. Meteran
9. 4 kabel roll
10. Lempeng seismik
11. Laptop 1 buah

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah Ms.Excel, Arcgis, Software pengolahan MASW, dan software pemodelan digunakan untuk menampilkan gambar gelombang geser pada kedalaman 0-30 m serta pemetaan daerah rawan guncangan gempa bumi.



Gambar 3.1 Titik lokasi pengukuran di Surabaya



### 3.3 Desain Akuisisi

Berikut ini merupakan ilustrasi dari desain pengukuran multichannel analysis of surface wave (MASW) di daerah Surabaya :



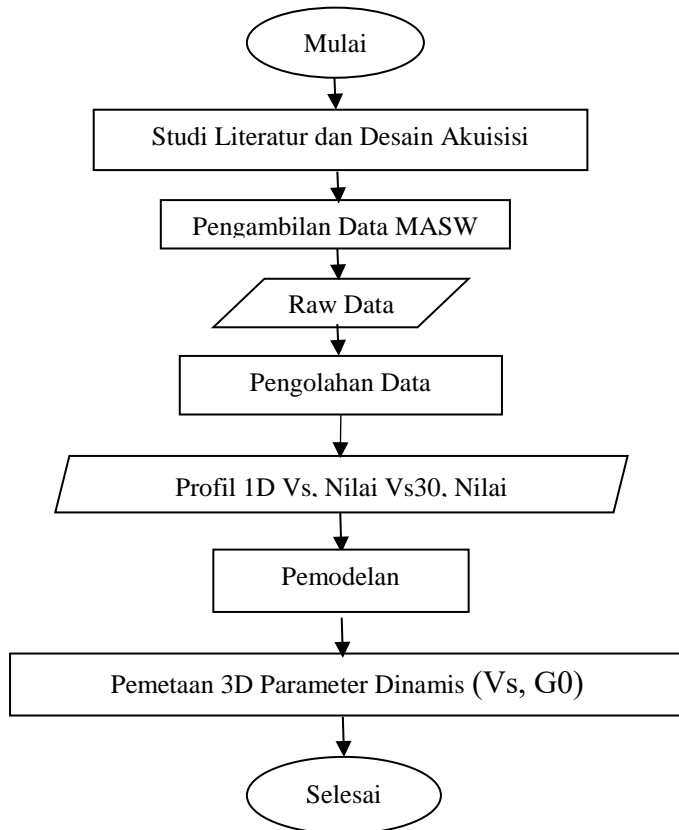
Gambar 3.2 Desain akuisisi MASW

Penelitian ini menggunakan 24 geophone yang disusun memanjang dengan jarak 4 m antar geophone dan jarak offset 5 m. Sumber yang digunakan berupa palu seismik. Akuisisi dilakukan dengan 5 shot, 2 di offset, 1 dititik tengah dan 2 lainnya di geophone ke 8 dan 16 atau shot ada di meter ke 0 m, 33 m, 49 m, 65 m dan 102 m. Pengukuran dilakukan dengan durasi pengukuran 2 s dan stacking shot 3x. Semua parameter diatas bertujuan untuk mendapatkan target kedalaman 30-50 meter.

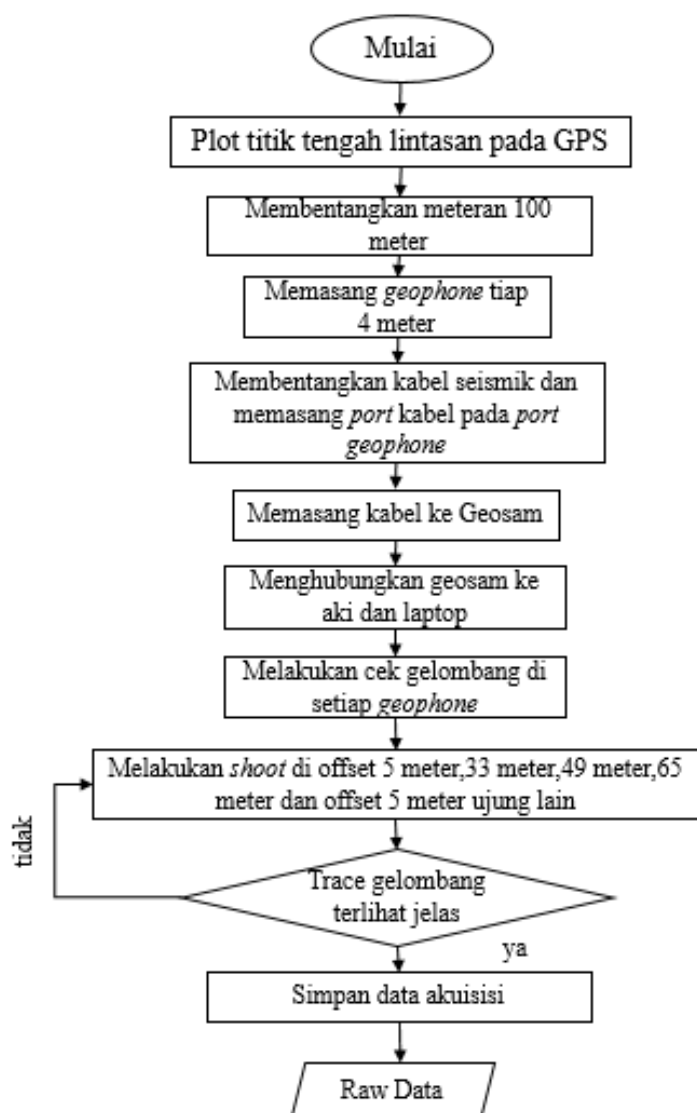
### 3.4 Langkah Kerja

Beberapa hal tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 3.3, yang secara umum dikelompokkan sebagai berikut:

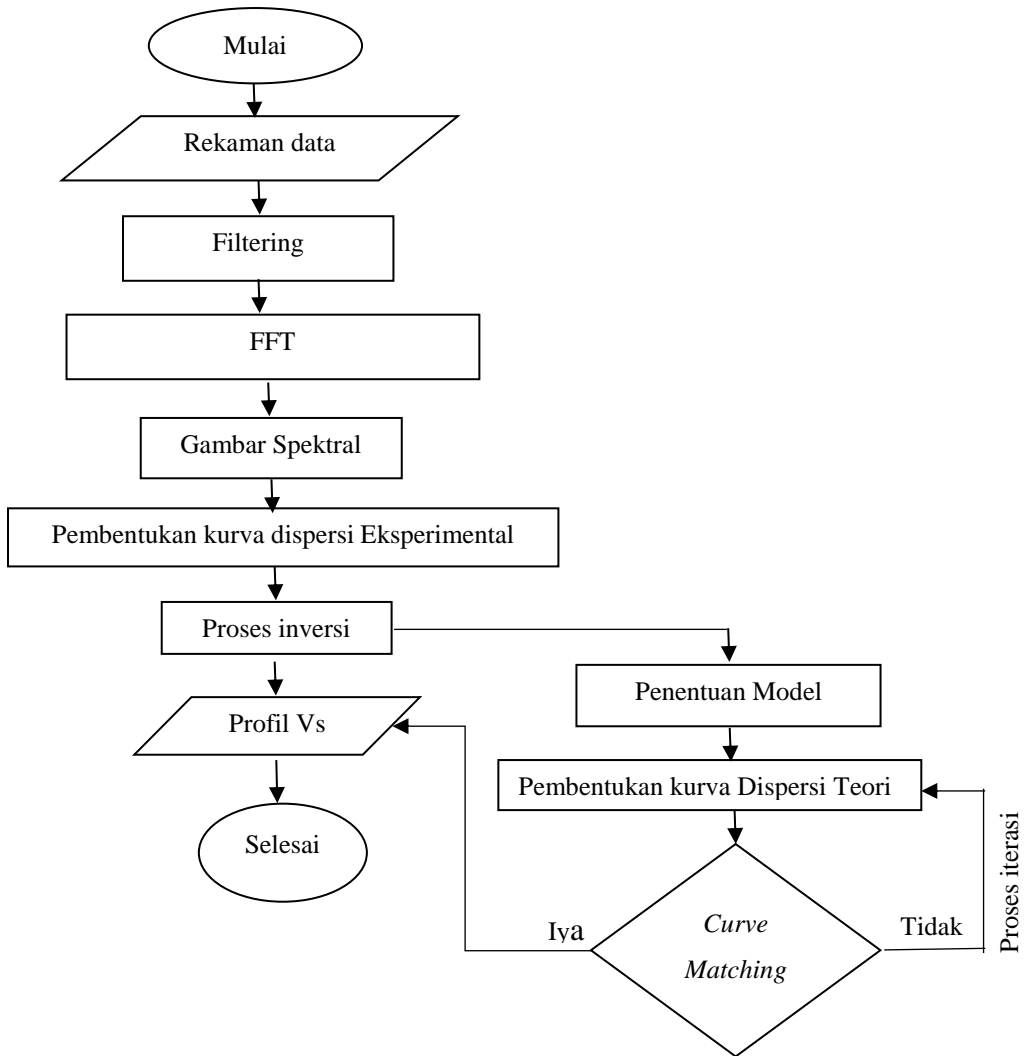
- Pengambilan data  
Tahapan dari pengukuran MASW di Surabaya ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Pengambilan data disesuaikan dengan keadaan lokasi penelitian.
- Proses pengolahan data  
Tahapan dari pengolahan data yang didapat dari lapangan adalah yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.
- Interpretasi hasil pengolahan



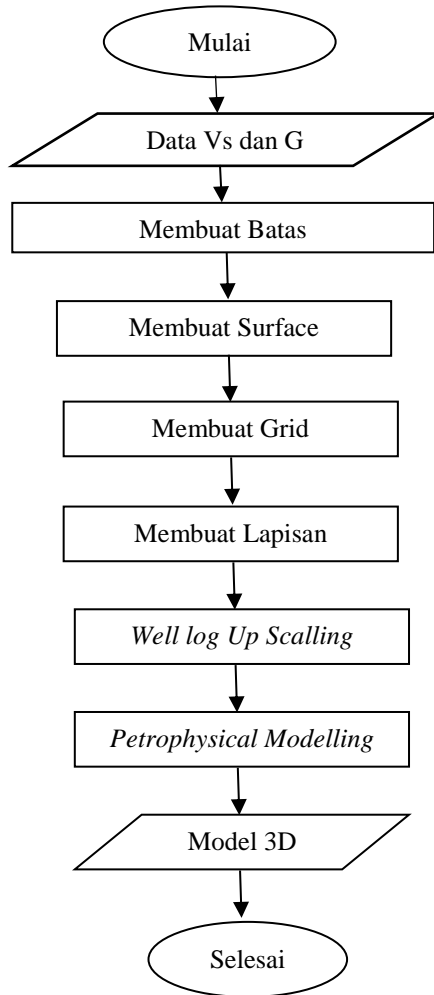
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian seacar umum



Gambar 3.4 Diagram alir pengambilan data



Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data MASW

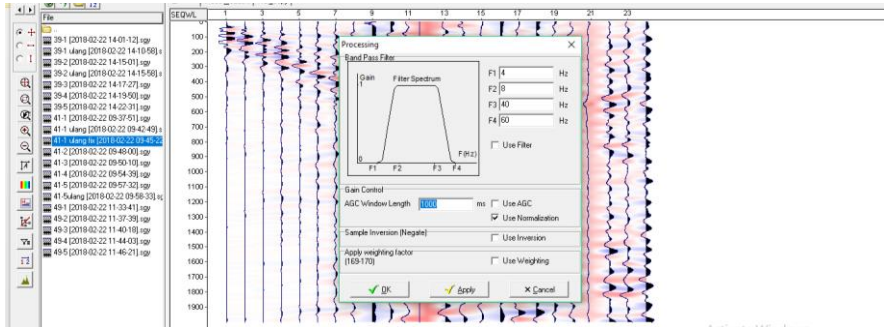


Gambar 3. 6 Diagram alir pemodelan 3D

## 3.5 Pengolahan Data

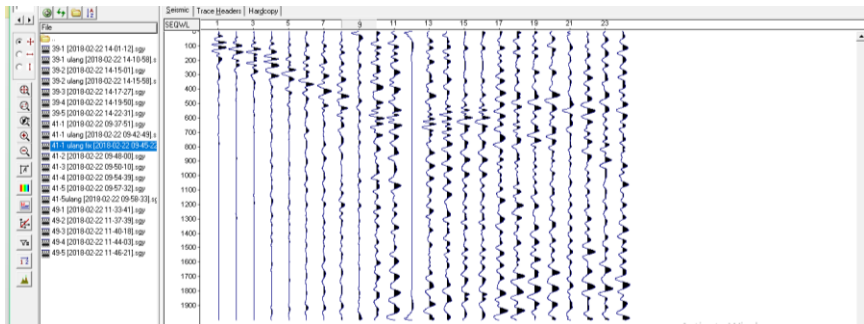
### 3.5.1 Filtering Data Menggunakan Seisec

Data seismik pada gambar 4.1 difilter frekuensi menggunakan *bandpass filter* pada *software* pengolahan seismik dengan  $f1=4\text{hz}$ ,  $f2=8\text{hz}$ ,  $f3=40\text{ hz}$  dan  $f4=60\text{ hz}$ .



Gambar 3.7 Filtering bandpass

Gambar 3.7 merupakan proses pemfilteran gelombang menggunakan *bandpass* pada *seisec* dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 3.8

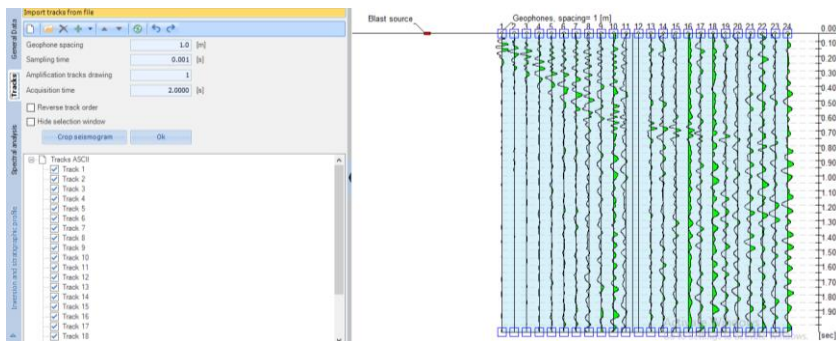


Gambar 3.8 Hasil bandpass filter

Gambar 3.8 merupakan hasil trace gelombang line 25 pada near offset setelah proses filtering. Selanjutnya data disimpan dalam format *.sgy* dan siap dimasukkan ke *software* pengolahan MASW.

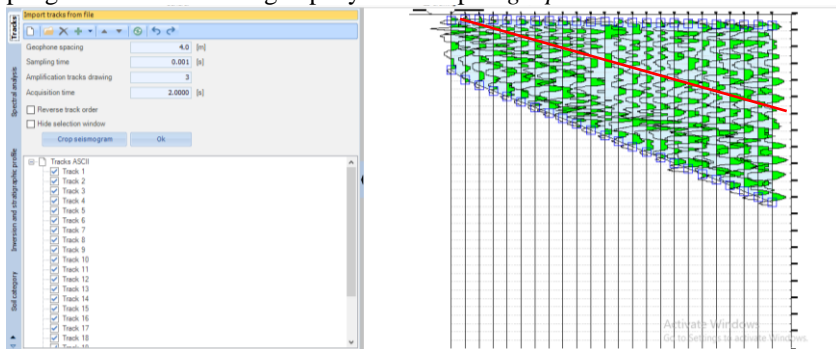
### 3.5.2 Pengolahan Data MASW

Setelah data difilter kemudian data dimasukkan ke *software* pengolahan MASW dan dilakukan pengolahan untuk melihat profil Vs di Surabaya.



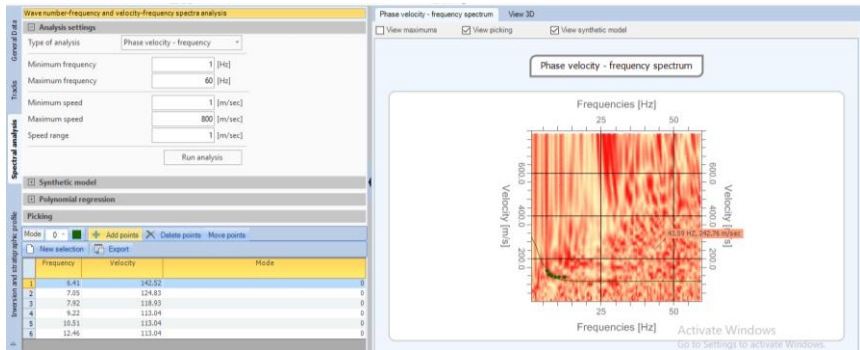
Gambar 3.9 Gambar data padaPengolahan MASW

Gambar 3.9 merupakan gambar trace gelombang setelah dibuka di *software* pengolahan MASW dengan penyesuaian spasi *geophone* dan lama akuisisi.



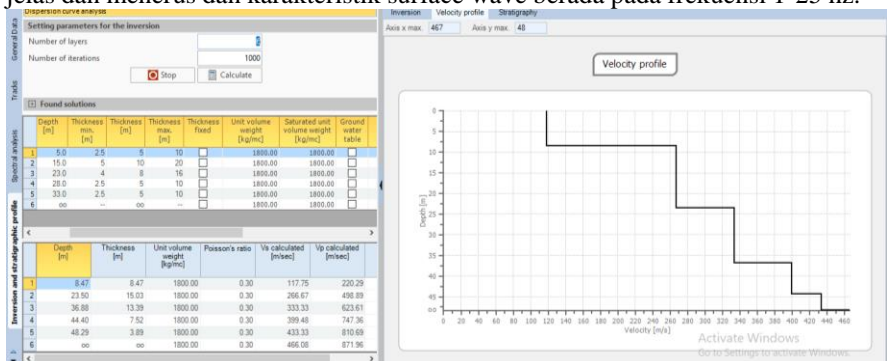
Gambar 3.10 Gambar trace setelah dilakukan picking surface wave

Gambar 3.10 merupakan hasil picking surface wave line 25 shoot pertama (near offset). Picking gelombang dapat diambil dari first break sampai gelombang permukaannya, namun untuk hasil gambar spektral dispersi yang lebih jelas cukup ambil gelombang permukaannya saja. Setelah dilakukan picking surface wave kemudian masuk ke menu spectral analysis untuk mengatur parameter X (frekuensi) dan Y (phase velocity) gambar spektral dispersi yang ingin diperlihatkan pada sub menu analysis setting. Selanjutnya memasukkan parameter berupa ketebalan lapisan dan Vs model pada sub menu synthetic model. Tahap terakhir picking kurva dispersi pada fundamental mode (M0).



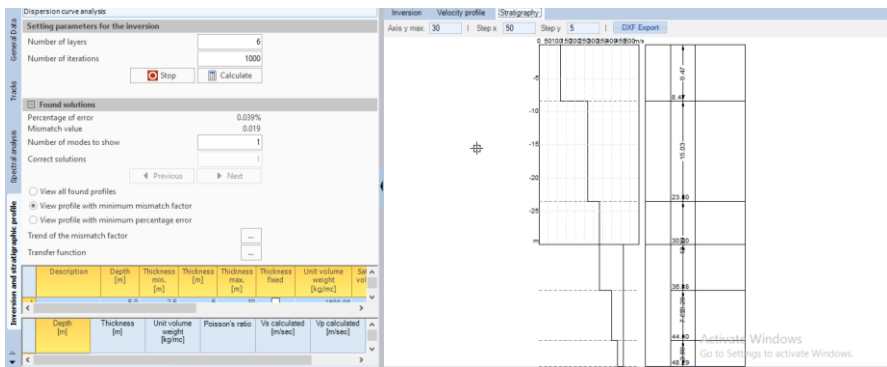
Gambar 3.11 Picking fundamental mode

Gambar 3.11 yang sebelah kiri menunjukkan nilai kecepatan gelombang S dan frekuensi sesuai hasil picking sedangkan yang sebelah kanan adalah hasil *picking fundamental mode* pada spektrum gelombang (citra dispersi). Bagian yang dipicking adalah kurva yang menunjukkan garis yang jelas dan menerus dan karakteristik surface wave berada pada frekuensi 1-25 hz.



(a)





(b)

Gambar 3.7 Hasil Inversi (a) Profil Vs 1D (b) Stratigrafi dan nilai error

Gambar 3.12 adalah gambar hasil *inversi easyMASW* dengan model awal yang ditentukan berjumlah 6 lapisan dan iterasi sebesar 1000 menghasilkan data seperti pada gambar 3.14 yang menunjukkan bahwa di line 25 merupakan daerah dengan nilai Vs30 yang cukup rendah yaitu 203 m/s dan termasuk kategori C dalam kategori VS30.

Category	Description	Vs min [m/sec]	Vs max [m/sec]
A	Outcrop rocky mass or very rigid soils characterised by Vs30 superior to 800 m/s, eventually including in the surface an alteration layer, with a maximum thickness of 3 m.	800	-
B	Soft rocks and deposits of very dense coarse grain soils or very dense fine grain soils with thickness superior to 30 m, characterised by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 values between 360 m/s and 800 m/s, (or Vs30 > 30 m coarse grain soils and cu,30 > 250 kPa in fine grain soils).	360	800
C	Deposits of medium dense coarse grain soils or medium dense fine grain soils with thickness superior to 30 m, characterised by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 values between 180 m/s and 360 m/s, (or Vs30 > 30 m coarse grain soils and cu,30 > 250 kPa in fine grain soils).	180	360
D	Deposits of poor consistency coarse grain soils or poor consistency fine grain soils with thickness superior to 30 m, characterised by gradual improvement of the mechanical properties with depth and Vs30 inferior to 180 m/s (or Vs30 < 15 m coarse grain soils and cu,30 < 70 kPa in fine grain soils).	-	180
E	Subsoil terrain of C or D type, with thickness not superior to 20 m, laying on the reference substratum (with Vs > 800 m/s).	-	-

Gambar 3.8 Hasil nilai vs dan ketebalan masing-masing lapisan

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Data

Tabel berikut ini merupakan hasil dari pengolahan data lapangan yang menunjukkan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) pada kedalaman 0-30 m, nilai Vs per lapisan dan modulus geser (G0).

Tabel 4.1 Hasil Vs30 Pengukuran MASW Surabaya

ID	X	Y	Vs30 (m/s)	Depth (m)	Vs (m/s)	G0 (Mpa)	Formasi Geologi
1	688459	9193740	294.448	4.38	125.39	28.3	Tpl
	688459	9193740		6.88	239.99	103.67	
	688459	9193740		16.79	319.84	184.14	
	688459	9193740		19.79	399.78	287.68	
	688459	9193740		21.29	466.65	391.98	
	688459	9193740		27.74	525.54	497.15	
2	685070	9192997	254.976	9.62	164.5	48.71	Tpl
	685070	9192997		14.39	283.54	144.71	
	685070	9192997		21.63	342.23	274.37	
	685070	9192997		26.83	375.32	409.8	
	685070	9192997		32.85	408.55	578.17	
3	684820	9189271	252.654	5.97	121.11	26.4	Tpl
	684820	9189271		9.11	214.51	82.87	
	684820	9189271		12.77	248.5	111.16	
	684820	9189271		30.45	393.34	278.09	
	684820	9189271		48.56	444.34	355.38	
4	680923	9192683	270.948	5.97	131.24	33.55	Qtp
	680923	9192683		10.43	241.83	86.58	
	680923	9192683		15.6	313.31	176.7	
	680923	9192683		27.19	411.71	305.11	
	680923	9192683		34.44	470.48	398.43	
5	680678	9195845	266.758	7.97	145.48	51.43	Qtp

	680678	9195845		11.22	195.04	68.47	
	680678	9195845		14.86	273.29	134.44	
	680678	9195845		18.69	393.77	279.1	
	680678	9195845		22.74	466.67	392	
	680678	9195845		37.17	531.54	508.57	
6	686809	9192410	258.58	7.19	107.85	20.94	Qtp
	686809	9192410		12.44	326.03	191.33	
	686809	9192410		24.16	436.23	342.54	
	686809	9192410		35.48	568.55	581.84	
	686809	9192410		46.94	676.59	823.99	
7	680262	9190339	258.016	2.35	106.67	6.4	Qtp
	680262	9190339		6.02	159.98	10.26	
	680262	9190339		12.28	266.66	60.12	
	680262	9190339		17.28	333.32	195.46	
	680262	9190339		34.44	533.26	456.43	
8	682912	9194836	239.296	3.01	65.07	7.62	Qtp
	682912	9194836		5.51	160.00	46.08	
	682912	9194836		9.02	266.45	127.79	
	682912	9194836		14.91	332.00	198.4	
	682912	9194836		43.59	399.98	287.97	
9	683911	9189615	235.528	5.3	130.59	30.7	Qtp
	683911	9189615		8.12	134	32.31	
	683911	9189615		17	328.13	193.81	
	683911	9189615		28.3	334.36	201.24	
	683911	9189615		44.33	525.48	497.03	
10	688312	9192460	235.022	3	100	18	Qtp
	688312	9192460		15	200	72	
	688312	9192460		27	333.32	199.99	
	688312	9192460		39	466.67	392	
	688312	9192460		42	600	648	
11	677714	9199468	251.466	5.39	97.94	17.27	Qpk

	677714	9199468		7.98	261.61	123.19	
	677714	9199468		11.48	333.26	199.91	
	677714	9199468		21.89	465.21	389.55	
	677714	9199468		37.15	533.25	511.85	
12	685569	9196131	242.062	5.27	133.33	32	Qpk
	685569	9196131		14.08	266.67	128	
	685569	9196131		28.08	333.33	200	
	685569	9196131		34.19	466.67	392	
13	686889	9195469	238.606	4.28	102.77	19.01	Qpk
	686889	9195469		7.15	196.12	69.24	
	686889	9195469		12.07	249.11	111.7	
	686889	9195469		27.15	363.79	238.22	
	686889	9195469		33.94	434.94	340.51	
14	698681	9192413	218.714	2.66	92.81	15.51	Qa
	698681	9192413		12.66	188.94	64.25	
	698681	9192413		18.67	260.46	122.11	
	698681	9192413		23.67	284.11	145.29	
	698681	9192413		31.17	308.27	171.05	
15	683762	9197724	218.712	1.50	93.33	15.68	Qa
	683762	9197724		9.01	137.57	34.06	
	683762	9197724		12.51	264.16	125.61	
	683762	9197724		17.51	331.16	197.41	
	683762	9197724		32.65	397.47	284.36	
16	693880	9197348	215.472	3.7	104.57	19.68	Qa
	693880	9197348		10.63	203.37	74.44	
	693880	9197348		26.28	272.95	134.11	
	693880	9197348		34.52	305.2	167.67	
	693880	9197348		38.08	417.7	314.05	
17	682420	9191068	215.03	4.74	66.67	8	Qa
	682420	9191068		14.51	333.33	200	
	682420	9191068		26.30	334.43	201.31	

	682420	9191068		33.24	429.39	331.87	
	682420	9191068		47.86	533.33	512	
18	695794	9194355	214.872	6.29	131.18	30.97	Qa
	695794	9194355		16.17	221.38	88.21	
	695794	9194355		35.8	302.69	164.92	
	695794	9194355		41.44	421.51	319.81	
	695794	9194355		45.56	440.2	348.8	
19	700329	9193322	214.866	3.40	82.05	12.12	Qa
	700329	9193322		5.9	160.00	46.08	
	700329	9193322		19.43	262.44	123.98	
	700329	9193322		39.17	329.32	195.21	
	700329	9193322		48.7	356.32	228.54	
20	696495	9201873	214.388	3.86	107.46	20.79	Qa
	696495	9201873		7.95	154.44	42.93	
	696495	9201873		27.31	278.51	139.62	
	696495	9201873		37.31	364.55	239.21	
	696495	9201873		47.31	372.39	249.62	
21	696220	9190378	212.454	4	97.82	17.22	Qa
	696220	9190378		6.5	119.7	25.79	
	696220	9190378		11.5	206.55	76.79	
	696220	9190378		27.5	330.76	196.92	
	696220	9190378		34.81	328.95	194.77	
22	690628	9189550	208.33	9.97	117.6	24.89	Qa
	690628	9189550		17.31	245.34	108.34	
	690628	9189550		34.27	318.63	182.75	
	690628	9189550		40.45	358.48	231.31	
	690628	9189550		46.99	411.77	305.2	
23	699661	9196172	208.13	3.14	113.43	23.16	Qa
	699661	9196172		9.14	142.68	36.64	
	699661	9196172		14.8	228.29	93.81	
	699661	9196172		22.48	276.43	137.55	

	699661	9196172		31.04	300.66	162.72	
24	689948	9187996	205.042	2.66	92.81	15.51	Qa
	689948	9187996		12.66	188.94	64.25	
	689948	9187996		18.67	260.46	122.11	
	689948	9187996		23.67	284.11	145.29	
	689948	9187996		31.17	308.27	171.05	
25	696925	9189745	202.11	2.5	72.09	9.35	Qa
	696925	9189745		10.81	167.17	50.3	
	696925	9189745		24.12	262.97	124.48	
	696925	9189745		27.53	272.97	134.12	
	696925	9189745		37.41	272.73	133.89	
26	697132	9187419	201.326	6.87	111.22	22.27	Qa
	697132	9187419		8.38	150.93	41	
	697132	9187419		16.04	237.15	101.23	
	697132	9187419		19.42	265.67	127.05	
	697132	9187419		26.35	332.56	199.08	
	697132	9187419		39.31	395.25	281.2	
27	696949	9198850	201.322	2.5	83.95	12.69	Qa
	696949	9198850		12.45	193.74	67.57	
	696949	9198850		26.78	270.62	131.82	
	696949	9198850		33.41	361.58	235.33	
	696949	9198850		42.96	466.16	391.15	
28	687380	9197516	200.485	1.00	93.33	15.68	Qa
	687380	9197516		6.42	114.5	31.95	
	687380	9197516		16.42	198.78	32.08	
	687380	9197516		23.6	333.33	200	
	687380	9197516		30.33	411.34	499.52	
29	684735	9190587	199.15	6.93	101.87	18.68	Qa
	684735	9190587		16.09	260.8	122.43	
	684735	9190587		26.92	344.17	213.22	
	684735	9190587		34.89	401.95	290.81	

	684735	9190587		44.4	499.94	449.89	
30	696184	9195235	198.034	4.01	93.54	15.75	Qa
	696184	9195235		11.95	133.52	32.09	
	696184	9195235		14.49	208.06	77.92	
	696184	9195235		16.49	278.94	140.06	
	696184	9195235		19.19	339.57	207.56	
	696184	9195235		27.42	373.36	250.91	
31	691226	9193916	196.384	8.71	98.79	17.57	Qa
	691226	9193916		17.38	175.07	55.17	
	691226	9193916		22.09	226.28	92.16	
	691226	9193916		30.1	248.49	111.14	
	691226	9193916		37.41	274.26	135.4	
	691226	9193916		45.07	326.76	192.19	
32	694124	9189567	195.396	7.02	104.37	19.61	Qa
	694124	9189567		9.58	141.92	36.25	
	694124	9189567		16.93	218.26	85.75	
	694124	9189567		22.48	261.04	122.65	
	694124	9189567		26.23	328.57	194.33	
	694124	9189567		32.45	383.02	264.07	
33	692455	9190558	191.92	1.79	61.33	6.77	Qa
	692455	9190558		5.16	102.26	18.82	
	692455	9190558		8.68	214.72	82.99	
	692455	9190558		27.57	299.63	161.6	
	692455	9190558		57.36	307.15	169.81	
34	698909	9189042	190.488	4.06	62.38	7	Qa
	698909	9189042		11.61	201.88	73.36	
	698909	9189042		31.15	327.31	192.83	
	698909	9189042		40.97	339.06	206.93	
	698909	9189042		43.81	402.65	291.83	
35	699809	9190739	189.816	5.21	99.84	17.94	Qa
	699809	9190739		17.21	147.56	39.19	



	699809	9190739		27.44	392.32	277.05	
	699809	9190739		39.41	466.19	391.19	
	699809	9190739		48.37	532.87	511.11	
36	698505	9194835	189.484	5.65	115.74	24.11	Qa
	698505	9194835		13.86	198.04	70.6	
	698505	9194835		23.88	219.75	86.92	
	698505	9194835		29.05	251.6	113.94	
	698505	9194835		34.73	410.8	303.77	
37	687360	9199593	188.118	2.46	70.46	8.94	Qa
	687360	9199593		6.97	101.50	18.54	
	687360	9199593		11.65	203.63	74.64	
	687360	9199593		16.67	251.73	114.07	
	687360	9199593		24.18	285.90	147.13	
38	678657	9201357	186.834	4.86	93.3	14.94	Qa
	678657	9201357		14.86	91.19	14.97	
	678657	9201357		27.98	333.3	199.86	
	678657	9201357		32.74	366.4	241.64	
	678657	9201357		49.83	439.97	348.44	
39	680608	9199148	185.522	2.66	87.63	13.82	Qa
	680608	9199148		12.55	171.46	52.92	
	680608	9199148		17.85	216.38	84.28	
	680608	9199148		32.17	317.5	181.45	
40	693893	9199517	183.606	6.71	109.47	21.57	Qa
	693893	9199517		9.26	159.69	45.9	
	693893	9199517		18.34	233.23	97.92	
	693893	9199517		24.95	292.96	154.49	
	693893	9199517		29.96	346.41	216.01	
	693893	9199517		43.13	399.26	286.93	
41	681343	9198686	180.426	7.75	119.48	25.7	Qa
	681343	9198686		13.19	119.46	25.69	
	681343	9198686		15.71	208.89	78.54	

	681343	9198686		17.9	249.31	111.88	
	681343	9198686		20.04	314.58	178.13	
	681343	9198686		37.48	358.04	230.75	
42	686850	9200859	179.574	2.72	82.1	12.14	Qa
	686850	9200859		12.15	176.5	56.07	
	686850	9200859		24.48	185.2	61.74	
	686850	9200859		39.82	294.26	155.86	
43	682238	9202931	176.492	1.63	83.95	12.69	Qa
	682238	9202931		10.22	199.84	71.89	
	682238	9202931		24.09	215.885	83.86	
	682238	9202931		30.14	215.5	83.93	
	682238	9202931		49.69	215.94	83.59	
44	695412	9193225	284.25	5.02	149.91	40.45	Tpl
	695412	9193225		9.15	205.67	40.53	
	695412	9193225		14.16	354	288	
	695412	9193225		22.12	466.67	392	
	695412	9193225		32.51	527.78	501.39	
45	693820	9188848	243.04	2.95	93.33	15.68	Qpk
	693820	9188848		8.68	163.36	48.04	
	693820	9188848		18.02	293.68	155.25	
	693820	9188848		25.44	453.46	370.13	
	693820	9188848		39.04	531.83	509.12	
	693820	9188848		50.6	599.94	647.87	

Berdasarkan hasil dari tabel 4.1 menunjukkan adanya perbedaan nilai pada 4 formasi di daerah Surabaya yaitu Formasi Lidah (Tpl), Formasi Pucangan (Qtp), Formasi Kabuh (Qpk), dan Formasi Alluvium (Qa). Setiap formasi geologi memiliki kisaran nilai Vs30 yang berbeda. Formasi lidah merupakan formasi tertua di Surabaya, dimana formasi ini memiliki kisaran nilai Vs30 yang cukup tinggi dibandingkan formasi lainnya yaitu 252 m/s – 294 m/s. Formasi Qtp (Pucangan) memiliki rentan nilai Vs30 antara 235-270. Formasi Qpk (Kabuh) memiliki nilai Vs30 antara 238-243 m/s dan Formasi Aluvium memiliki rentan Vs30 antara 176-218 m/s. Formasi aluvium memiliki nilai Vs30 yang rendah karena komposisi penyusunnya merupakan kerikil, pasir, lempung juga fosil

kerang. Komposisi penyusunnya tersebut memiliki nilai  $V_s < 175$  m/s dan pasir kerikil memiliki  $V_s$  antara 175-350 m/s. Sementara untuk formasi Qpk dan Qtp yang tersusun atas batu pasir dan formasi Tpl yang dominan batu lempung sehingga nilai  $V_{s30}$  nya cukup tinggi.

Hasil nilai  $V_{s30}$  tersebut menunjukkan bahwa formasi yang paling muda di Surabaya adalah formasi aluvium dengan nilai  $V_s$  paling rendah dibanding formasi lain karena sedangkan, formasi lidah memiliki nilai  $V_s$  cukup tinggi menggambarkan lapisannya cukup keras dan menunjukkan formasi paling tua. Hal ini selaras dengan pernyataan dari Sukardi tahun 1992 bahwa batuan dasar untuk Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (pre-tertiary). Formasi yang paling tua seharusnya berada di paling bawah lapisan sehingga akan lebih kompak dari lapisan di atasnya namun karena adanya gaya arah vertikal, membuat lapisan tanah bergerak ke atas dan membentuk antiklin. Maka lapisan paling tua akan berada di tengah dan lapisan paling muda akan berada di samping sehingga saat mengalami erosi lapisan paling tua akan berada di puncak antiklin.

Tabel 4.1 juga menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) per lapisannya berkisar antara 93 m/s - 676 m/s. Nilai  $V_s$  lapisan mencapai 300 m/s pada kedalaman  $>30$  m pada mayoritas titik pengukuran yang berupa formasi alluvium. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas penyusun batuan di Surabaya merupakan pasir, lempung dan kerikil. Sementara untuk formasi Qpk dan Qtp yang tersusun atas batu pasir dan formasi Tpl yang dominan batu lempung, formasi ini memiliki nilai  $V_s$  di atas 350 m/s - 600 m/s. Sedangkan nilai modulus geser berkisar antara 7 MPa – 823 MPa dengan kenaikan yang berbanding lurus dengan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman.

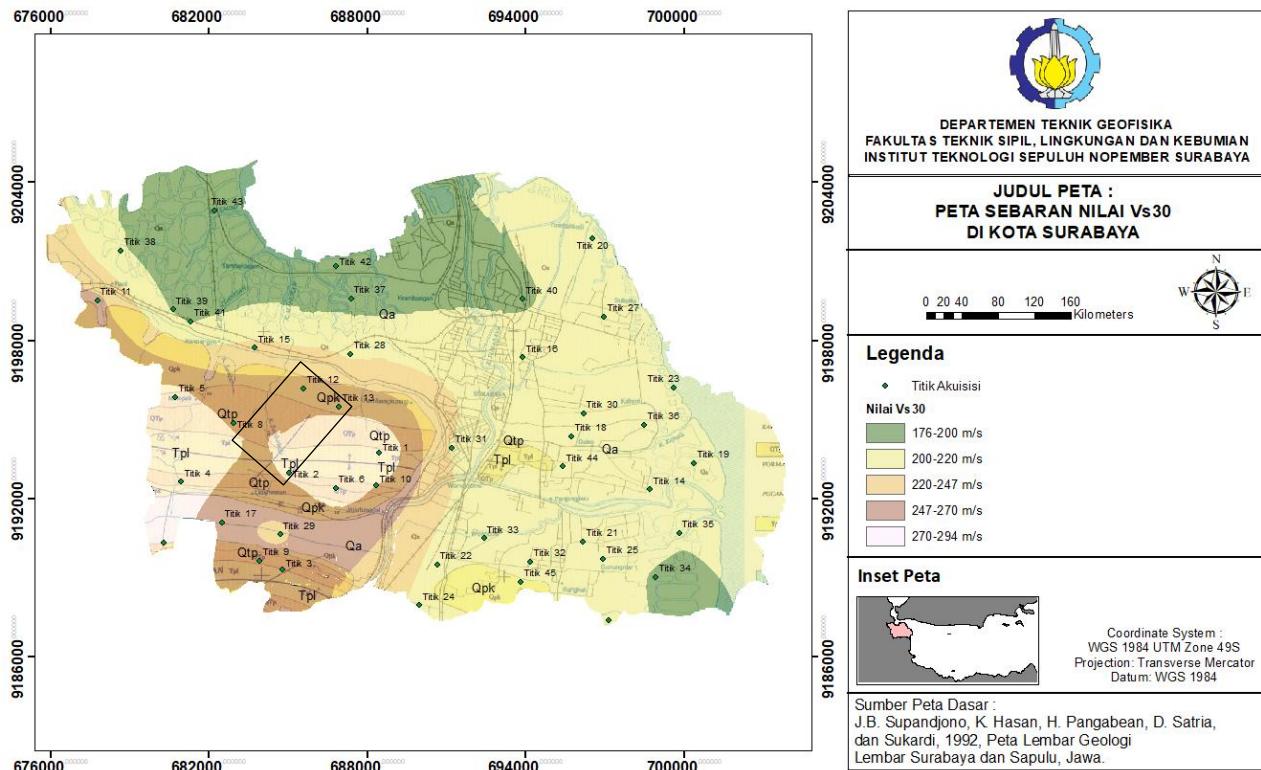
## 4.2 Hasil

Data  $V_{s30}$  dari tabel 4.1 dipetakan untuk mengetahui distribusi nilai  $V_{s30}$  di Kota Surabaya secara lokal. Hasil distribusi kecepatan gelombang geser pada kedalaman 0-30 m ( $V_{s30}$ ) di 45 lokasi di Kota Surabaya ditunjukkan oleh gambar 4.1. Terdapat 5 zona berdasarkan klasifikasi nilai kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ). Zona pertama yaitu daerah dengan nilai  $V_{s30}$  sebesar 170-200 m/s, yang kedua 200-220 m/s, yang ketiga 230-247 m/s, yang keempat sebesar 247-270 m/s, dan yang terakhir merupakan zona dengan nilai  $V_{s30}$  sebesar 270-294 m/s.

Hasil pemetaan pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa mayoritas daerah Surabaya berada pada zona kedua yaitu nilai  $V_{s30}$  sebesar 200-220 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa daerah Surabaya merupakan daerah bertanah lunak karena mayoritas penyusunnya merupakan formasi alluvium sehingga lapisannya belum terkompaksi. Kearif Utara menunjukkan bahwa nilai  $V_s$  semakin rendah. Hal ini mengindikasikan adanya sedimentasi yang tebal pada daerah Utara dikarenakan daerah pesisir dan menunjukkan bahwa lapisan pada daerah ini belum

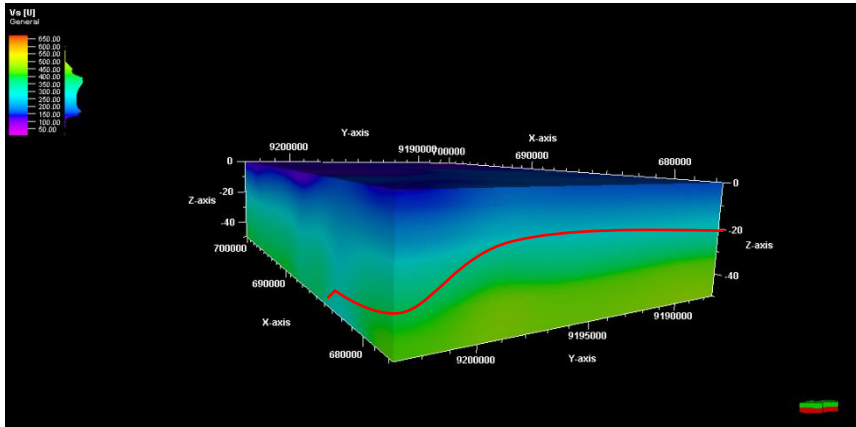
terkompaksi. Sedangkan pada daerah Selatan sebelah Barat dan daerah Barat nilai  $V_s$  tinggi dibandingkan daerah sekitar yang dikarenakan adanya dua antiklin yaitu antiklin lidah dan guyangan. Pada daerah Surabaya bagian Timur terdapat daerah dengan nilai  $V_s$  yang cukup tinggi. Hasil pemetaan pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada daerah antiklin lidah terdapat daerah yang diapit nilai tinggi, hal ini disebabkan oleh adanya patahan (Kotak warna hitam) sehingga daerah tersebut termasuk zona lemah dibandingkan daerah pinggirnya.

Berdasarkan nilai  $V_{s30}$ , klasifikasi tanah di Surabaya masuk dalam kategori kelas C dan D berdasarkan Eurocode8. Kategori kelas C yang berada pada daerah Antiklin merupakan endapan *sand* padat atau setengah padat yang tebal, gravel atau *clay* padat dengan beberapa puluhan hingga ratusan meter. Endapan tanah berbutir kasar kasar sedang atau tanah butiran halus menengah sedang. Sedangkan kategori kelas D dengan nilai kurang  $<180$  m/s merupakan Endapan tanah berbutir kasar dengan konsentris jelek atau tanah berbutir halus yang mengandung konsentris yang buruk.



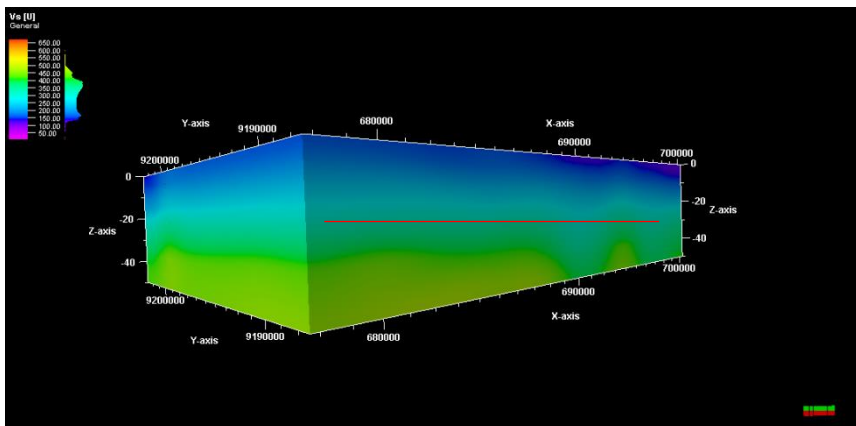
Gambar 4.1 Peta persebaran nilai Vs30 di Surabaya

Berikut merupakan pemodelan 3D hasil inversi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) per lapisan di daerah Surabaya :



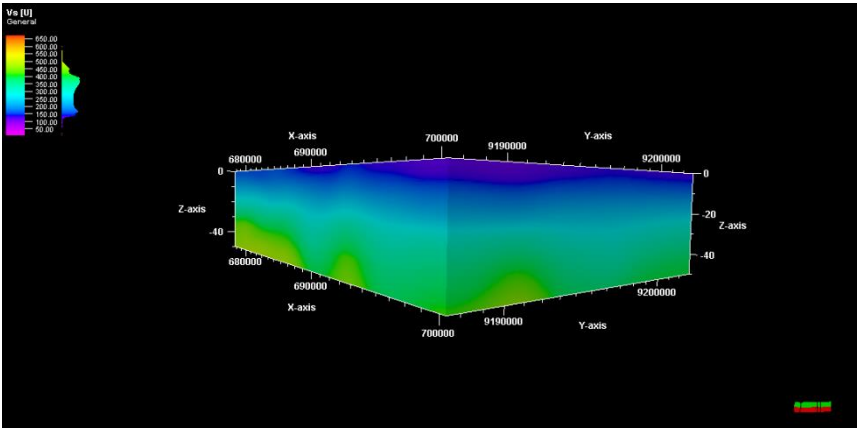
Gambar 4.2 Penampang 3D  $V_s$  dari arah Barat ke Utara (W-N)

Gambar 4.2 merupakan penampang 3D hasil pemodelan kecepatan gelombang geser dari arah Barat ke Utara. Sisi bagian Barat memiliki nilai  $V_s$  yang tinggi dariabada sisi bagian Utara. Pada kedalaman  $>20\text{m}$  nilai  $V_s$  mencapai 400-500 m/s dan terdapat naikan (garis merah) yang menunjukkan terdapat lapisan lebih keras yang diindikasikan sebagai antiklin lidah. Kearah Utara menunjukkan adanya penurunan nilai  $V_s$  yang cukup signifikan, dikarenakan daerah uatara merupakan formasi alluvium.



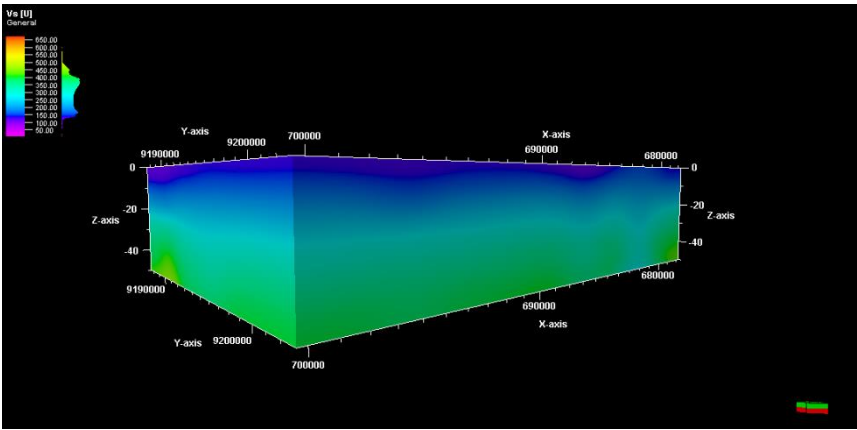
Gambar 4.3 Penampang 3D  $V_s$  dari arah Selatan ke Barat (S-W)

Gambar 4.3 menunjukkan penampang dari arah Selatan ke Barat, dimana nilai  $V_s$  mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari arah Selatan. Pada daerah ini nilai  $v_s$  pada kedalaman 0-20 m berkisar antara 200-300 m/s dan >30 m erkisar antara 350-550 m/s.



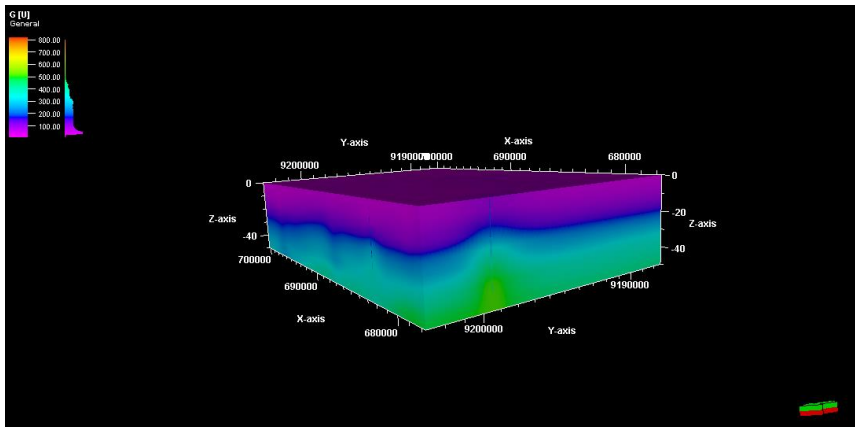
Gambar 4.4 Penampang 3D  $V_s$  dari arah Timur ke Selatan (E-S)

Gambar 4.4 merupakan model 3D  $V_s$  dari arah Timur ke Selatan. Pada bagian Timur nilai  $V_s$  cukup rendah antara 100-250 m/s sampai kedalaman 30 m. Pada sisi Selatan dari arah Timur nilai  $V_s$  rendah, namun semakin ke Barat nilai  $V_s$  semakin tinggi.



Gambar 4.5 Penampang 3D  $V_s$  dari arah Utara ke Timur (N-E)

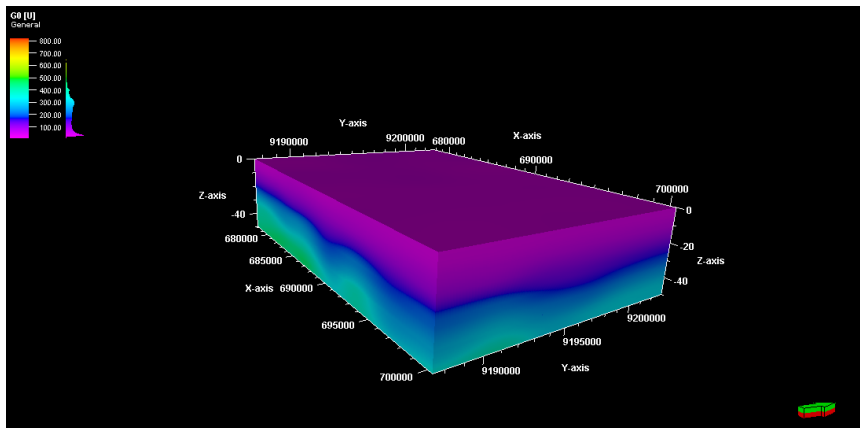
Pada sisi Utara ke arah Timur penampang Vs tidak terlalu menunjukkan perbedaan, ditunjukkan oleh gambar 4.5. Nilai Vs pada kedalaman 30 m berkisar antara 100-200 m/s.



Gambar 4.6 Penampang 3D G0 dari arah Barat ke Utara (W-N)

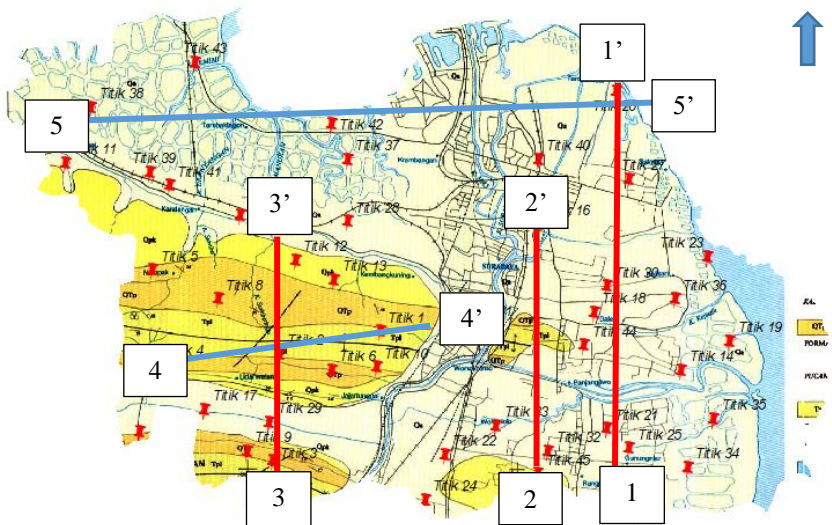
Hasil dari pemodelan modulus geser yang ditunjukkan Gambar 4.6 merupakan penampang 3D hasil pemodelan dari arah Barat ke Utara. Tidak jauh berbeda dari pemodelan Vs, sisi bagian Barat memiliki nilai G0 yang tinggi daripada sisi bagian Utara. Pada kedalaman >20m nilai Vs mencapai 200-400 MPa dan terdapat naikan yang menunjukkan terdapat lapisan lebih keras yang diindikasikan sebagai antiklin lidah. Kearah Utara menunjukkan adanya penurunan nilai G0 berkisar antara <100-200 Mpa.





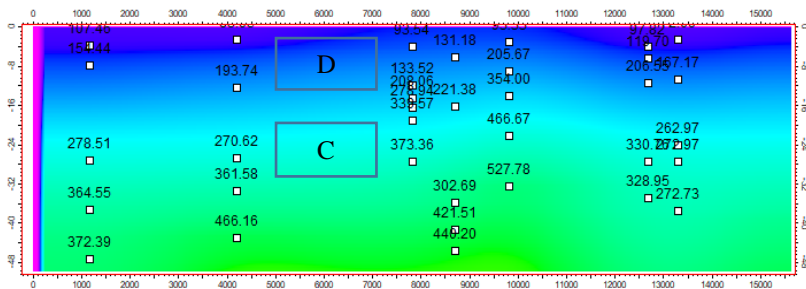
Gambar 4.7 Penampang 3D G0 dari arah Timur ke Selatan

Gambar 4.7 merupakan penampang G0 dari arah Timur ke Selatan. Sebaran nilai G0 perlapisan dari arah Timur ke Selatan menunjukkan bahwa pada kedalaman 0-30m nilainya berkisar antara <100-200 Mpa. Pada gambar 4.6 dan 4.7 ditunjukkan bahwa penampang modulus geser pada daerah surabaya secara keseluruhan tren nilainya hampir mirip dengan tren nilai Vs.



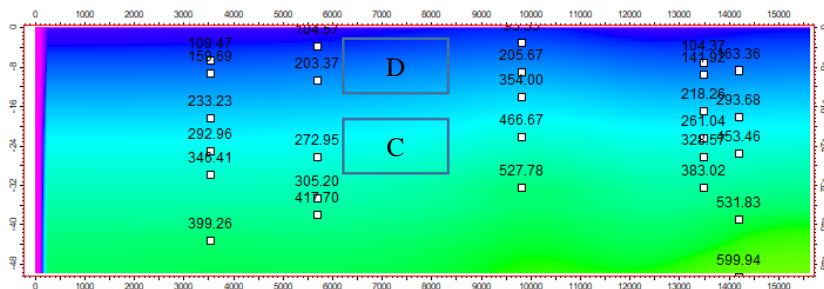
Gambar 4.8 Intersection penampang 2D (1-1' = Inline 20 ; 2-2' = Inline 26 ; 3-3' = Inline 65 ; 4-4' = Xline 70 ; 5-5' = Xline 30 )

Gambar 4.8 merupakan gambar *intersection* antar titik pengukuran. Garis biru menunjukkan Xline yaitu perpotongan dari arah Timur ke Barat. Garis merah menunjukkan perpotongan dari arah Utara ke Selatan. Berikut merupakan penampang 2D berdasarkan *intersection* antar titik pengukuran pada model Vs:



Gambar 4.9 Inline 20 (intersection 1-1') pada model Vs

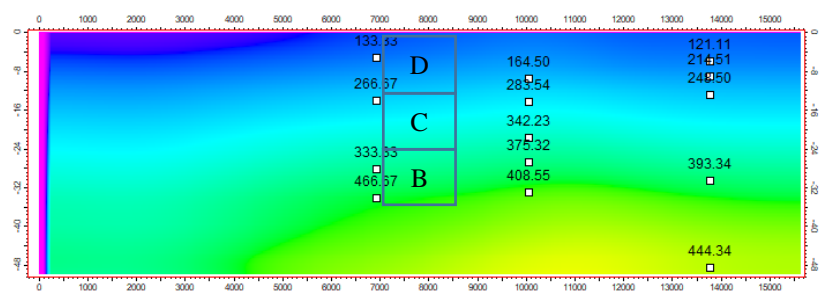
Inline 20 merupakan penampang 2D hasil *intersection* dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran yang berada di wilayah Surabaya bagian Timur yang ditunjukkan oleh gambar 4.9. Wilayah bagian Timur juga hampir sama dengan wilayah Utara, secara geologi lapisan tanahnya berupa alluvium. Dari hasil penampang inline 20 terdapat 3 lapisan juga, yaitu lapisan pertama berupa memiliki Vs sebesar 150 m/s pada kedalaman 0-10 m, lapisan kedua berupa endapan pasir padat 250-350 m/s pada kedalaman 10-30 m, dan lapisan ketiga merupakan lapisan endapan pasir yang sangat padat dengan Vs 350-400 m/s pada kedalaman >30 m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan pertama dan kedua merupakan lapisan lunak.



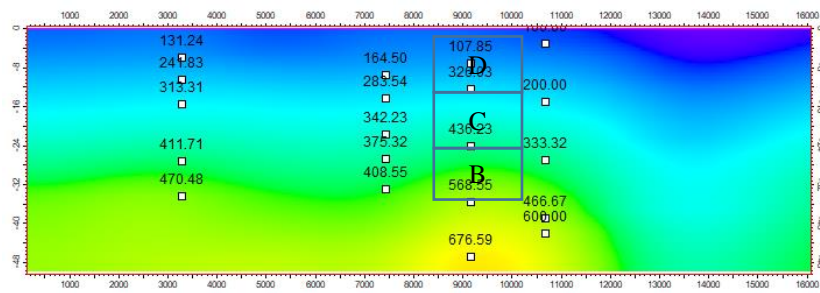
Gambar 4.10 Inline 26 (intersection 2-2') pada model Vs

Gambar 4.10 merupakan penampang 2D hasil *intersection* dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran yang berada di wilayah Surabaya bagian Timur dan melintasi formasi Tpl serta Qpk. Hasil dari *intersection* ini sama dengan

Inline 20, namun lebih keras karena pada kedalaman 30 m sudah mulai lapisan keras dengan nilai Vs >360 m/s.



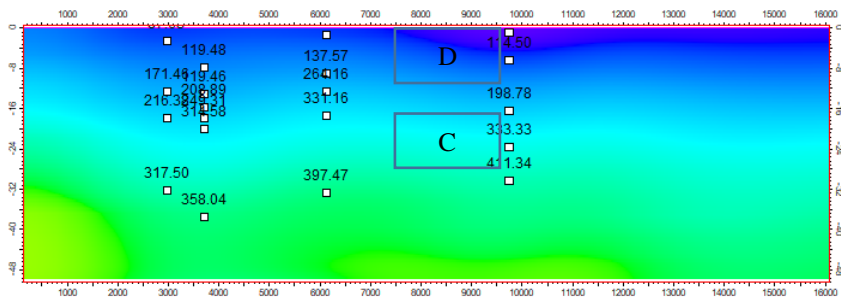
Inline 65 merupakan penampang 2D hasil intersection dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran di wilayah Surabaya bagian Barat yang ditunjukkan oleh gambar 4.11. Dapat dilihat bahwa bentuk strukturnya menyerupai antiklin. Litologi pada intersection menunjukkan adanya 3 kategori lapisan tanah seperti pada penampang sebelumnya.



Gambar 4.12 Xline 70 (Intersection 4-4') pada model Vs

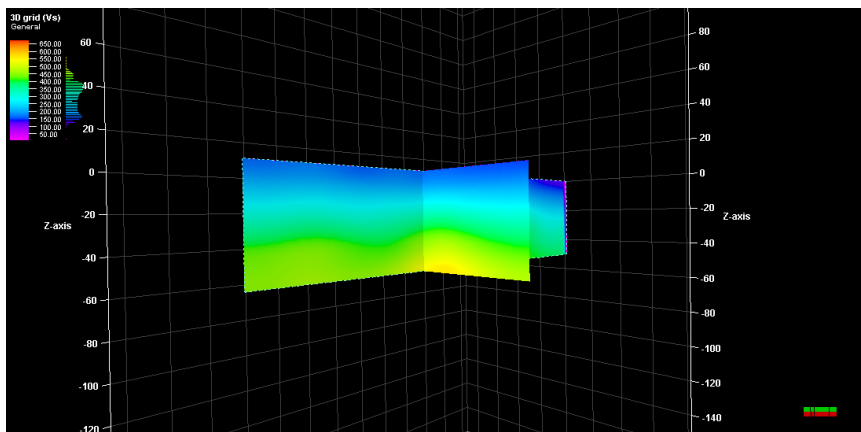
Gambar 4.12 merupakan penampang 2D hasil intersection dari arah Barat ke Timur laut di daerah antiklin lidah yang menghubungkan titik 2 (Tpl), titik 4 (Qtp), titik 6 (Qtp), dan titik 10 (Qtp), namun masih terlihat efek nilai Vs dari daerah alluvium disebelah Timur. Sehingga dari arah Timur nilai Vs nya rendah yaitu sekitar 300 m/s sampai kedalaman 50 m, menuju kearah Barat pada kedalaman 30 m nilai kecepatan gelombang geser (Vs) mencapai nilai 400 m/s. Berdasarkan hasil penampang tersebut terdapat 4 lapisan yaitu 0 – 5 m dengan nilai Vs sebesar 100 m/s, lapisan kedua 5-15 m memiliki nilai Vs sebesar 150-200 m/s, lapisan ketiga 15-30 m memiliki nilai sebesar 250-300 m/s, serta lapisan keempat > 50 m memiliki nilai sebesar 350-550 m/s. Lapisan pertama berupa

lapisan lempung lunak, lapisan kedua dan ketiga merupakan endapan pasir atau clay padat, sedangkan lapisan keempat berupa endapan pasir atau lempung yang sangat padat atau sandstone. Pada penampang bagian sisi sebelah Barat terjadi kenaikan struktur lapisan tanah, lapisan pertama berupa lapisan kedua pada penampang sebelah Timur (kanan) yaitu nilai Vs sebesar 150-200 m/s dengan kedalaman 0-12 m, selanjutnya lapisan kedua 12-26 m dengan nilai Vs 250-300 m/s, dan terakhir lapisan ketiga 26-50 m dengan Vs 350-550 m/s. Hal ini dikarenakan adanya antiklin pada daerah penampang 4-4' sehingga adanya kenaikan struktur tanah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin ke arah Barat (antiklin) lapisan tanah semakin keras ditunjukkan oleh nilai Vs yang tinggi pada kedalaman 26 m.



Gambar 4.13 Xline 30 (Intersection 5-5') pada model Vs

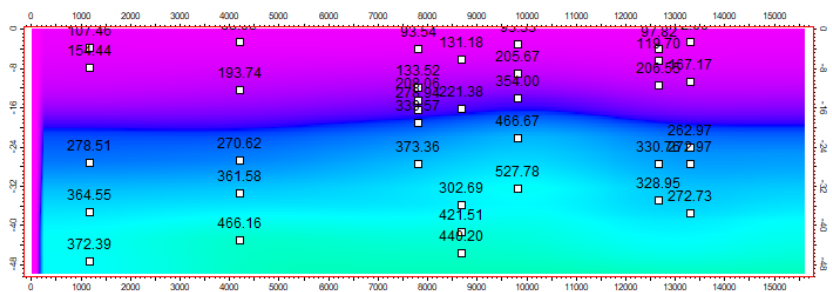
Gambar 4.13 merupakan Xline 30 yaitu intersection dari arah Barat ke Timur pada Surabaya bagian Utara yang berupa endapan aluvium. Pada penampang ini juga terdapat 3 lapisan, yaitu lapisan pertama 0-16 m dengan nilai Vs sebesar 150 m/s sehingga lapisan pertama berupa clay atau lapisan lempung lunak, lapisan kedua 16-40 m memiliki nilai Vs sebesar 300 m/s merupakan lapisan endapan pasir atau clay padat, dan lapisan ketiga 40-50 m 350-400 m/s merupakan endapan pasir yang sangat padat atau sandstone. Struktur lapisan tanah mengalami kenaikan secara kedalaman menuju ke arah Barat. Hal ini dikarenakan semakin ke arah Barat semakin mendekati antiklin lidah dapat dilihat pada gambar 4.8, sehingga lapisannya semakin keras di kedalaman dangkal.



Gambar 4.14 Crossection pada Xline 60 dan Inline 60 pada model Vs

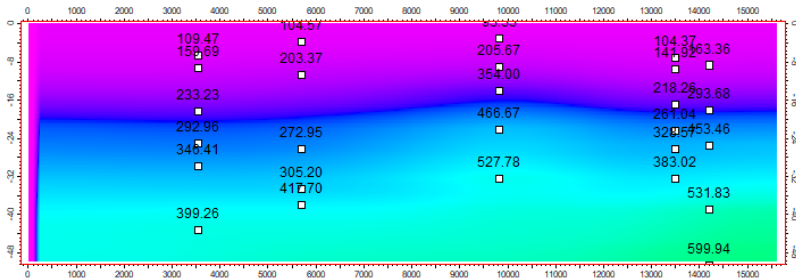
Gambar 4.14 menunjukkan crossection pada Xline 60 dan inline 60 yang merupakan perpotongan di daerah antiklin lidah. Terlihat bahwa dari arah Utara-Selatan maupun Barat-Timur nilai Vs nya tinggi. Pada kedalaman  $>20$  m, nilai Vs berkisar antara 350-550 m/s.

Berikut merupakan penampang 2D berdasarkan intersection antar titik pengukuran pada model G0.



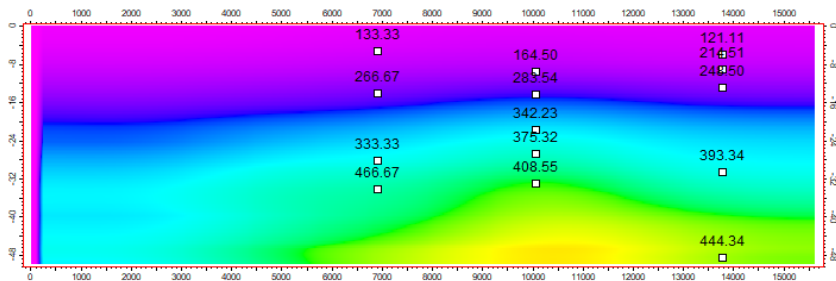
Gambar 4.15 Inline 20 (Intersection 1-1') pada model G0

Gambar 4.15 merupakan Inline 20 yang berupa penampang 2D modulus geser (G0) hasil intersection dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran yang berada di wilayah Surabaya bagian Timur. Hasil sebaran pada inline 20 adalah pada kedalaman 0-30 nilai G0 berkisar antara  $<100$ -200 Mpa dan nilainya semakin tinggi bila semakin dalam.



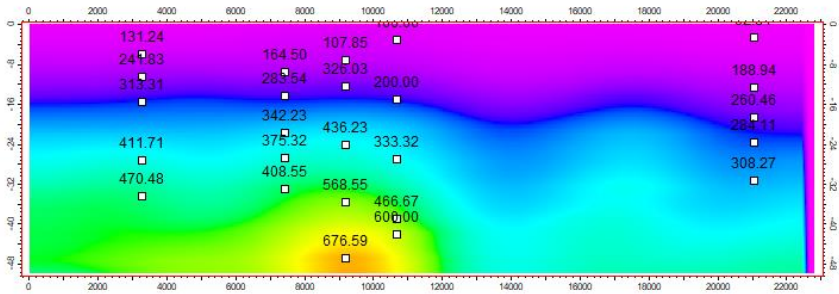
Gambar 4.16 Inline 26 (Intersection 2-2') pada model G0

Gambar 4.16 merupakan penampang 2D hasil intersection dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran yang berada di wilayah Surabaya bagian Timur dan melintasi formasi Tpl serta Qpk. Hasil sebaran nilai G0 dari intersection ini sama dengan Inline 20, namun lebih keras karena pada kedalaman 30 m sudah mulai tinggi dengan nilai G0 sekitar 300 MPa



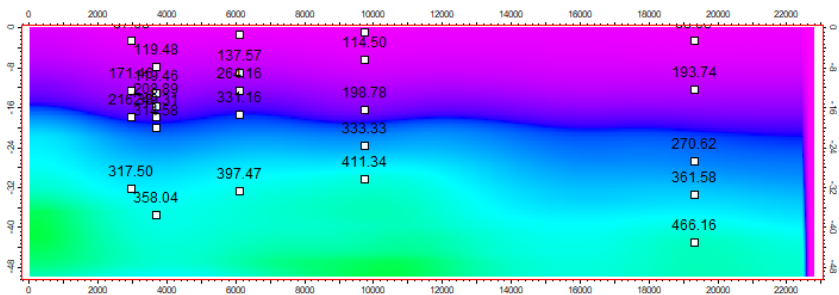
Gambar 4.17 Inline 65 (Intersection 3-3') pada model G0

Inline 65 merupakan penampang 2D hasil intersection dari arah Utara ke Selatan pada titik pengukuran di wilayah Surabaya bagian Barat yang ditunjukkan oleh gambar 4.17. Dapat dilihat bahwa bentuk strukturnya menyerupai antiklin sesuai dengan gambar 4.11. Hasil sebaran pada penampang ini adalah pada kedalaman 0-20 m memiliki nilai <100-200 Mpa dan 20-30 m nilai G0 berkisar antara 300-400 Mpa.



Gambar 4.18 Xline 70 (Intersection 4-4') pada model G0

Gambar 4.18 merupakan penampang 2D hasil intersection dari arah Barat ke Timur laut di daerah antiklin lidah yang menghubungkan titik 2 (Tpl), titik 4 (Qtp), titik 6 (Qtp), dan titik 10 (Qtp). Hasil sebaran nilai G0 pada penampang ini hampir sama dengan penampang pada gambar 4.17 yaitu pada kedalaman 0-20 m memiliki nilai <100-200 Mpa dan 20-30 m nilai G0 berkisar antara 300-400 Mpa.

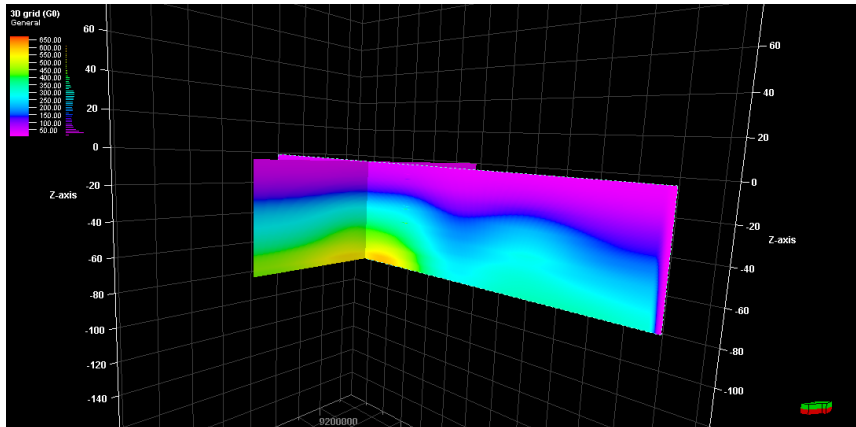


Gambar 4.19 Xline 30 (Intersection 5-5') pada model G0

Gambar 4.19 merupakan Xline 30 yaitu intersection dari arah Barat ke Timur pada surabaya bagian Utara yang berupa endapan aluvium. Hasil sebaran pada Xline 30 adalah pada kedalaman 0-30 nilai G0 berkisar antara <100-200 Mpa dan nilainya semakin tinggi bila semakin dalam Sebaran nilai Struktur lapisan tanah mengalami kenaikan secara kedalaman menuju kearah Barat. Hal ini dikarenakan semakin ke arah Barat semakin mendekati antiklin lidah dapat dilihat pada gambar 4.8, sehingga lapisannya semakin keras di kedalaman dangkal.

Hasil perlapisan penampang 2D hasil pemodelan modulus geser (G0) sama dengan tren pada hasil pelapisan di model Vs. Pada lapisan pertama bernilai <=

100 MPa, lapisan kedua 100-200 MPa, dan lapisan terakhir 200-400 MPa. Terlihat pada gambar 4.15 dan 4.19 yang merupakan perpotongan di daerah antiklin bahwa lapisan terakhir mulai terlihat pada kedalaman 28 m. Namun pada daerah aluvium seperti Xline 30, inline 20 dan inline 26 range lapisan terakhir tidak mencapai nilai 200.



Gambar 4.20 Crossection pada Xline 70 dan Inline 65 pada model G0

Gambar 4.20 menunjukkan crossection pada Xline 60 dan inline 60 yang merupakan perpotongan di daerah antiklin lidah. Terlihat bahwa dari arah Utara-Selatan maupun Barat-Timur nilai Vs nya tinggi.

### 4.3 Pembahasan

Pengukuran data metode Multichannel Analysis Surface Wave (MASW) pada tahun 2018 dilakukan sebanyak 45 titik di daerah Surabaya, Jawa Timur. Pengukuran MASW bertujuan sebagai evaluasi kondisi lokal atau tapak lokal Surabaya. Pengukuran dilakukan dengan konfigurasi pengukuran yaitu jarak offset 5 m, spasi antar geophone 4 m, waktu perekaman 2 s dan sampling rate 0.001 s. Hasil akhir dari penelitian berupa pemetaan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 0-30 m ( $V_{s30}$ ), serta pemodelan kecepatan gelombang geser dan modulus geser di daerah Surabaya berdasarkan data lapangan.

Data mentah yang telah diperoleh dari lapangan diolah menggunakan software pengolahan MASW untuk memperoleh nilai  $V_s$ ,  $V_{s30}$  dan  $G$ . Data mentah yang akan diolah difilter terlebih dahulu menggunakan filter bandpass pada software seismik dengan pengaturan  $f_1 = 4$  Hz;  $f_2 = 8$  Hz;  $f_3 = 40$  Hz;  $f_4 = 60$  Hz. Fiter bandpass digunakan untuk memilih frekuensi yang diinginkan dan menghilangkan noise frekuensi tinggi yang berasal dari noise kabel dan memperjelas gelombang Rayleigh sehingga memudahkan proses picking di



software pengolahan MASW. Proses pertama pengolahan MASW yaitu mengambil gelombang permukaan dan mengatur geometri sesuai dengan pengukuran dilapangan. Selanjutnya dilakukan proses pencitraan gambar spektral dispersi dan dilakukan input inisial model dengan parameter input berupa ketebalan dan Vs tiap kedalaman. Untuk input parameter ketebalan formasi Qa dan 3 formasi yang ada di antiklin (QTp, Tpl, dan Qpk) diseragamkan dengan lapisan pertama 3-5 meter, lapisan kedua 5-7 meter, lapisan ketiga 5-7 meter, lapisan keempat 7-9 meter, lapisan kelima 7-10 meter dan lapisan keenam 10 meter. Sementara untuk masukkan Vs pada formasi Qa dan formasi di antiklin parameter modelnya berbeda. Untuk lapisan Qa Vs lapisan pertama adalah 70-100 m/s, lapisan kedua 150 m/s, lapisan ketiga 200 m/s, lapisan keempat 250 m/s, lapisan kelima 300 m/s dan lapisan keenam 350 m/s. Sementara untuk lapisan Qtp, Qpk dan Tpl Vs lapisan pertama 150-200 m/s, lapisan kedua 250 m/s, lapisan ketiga 300 m/s lapisan keempat 350 m/s, lapisan kelima 400 m/s dan lapisan keenam 450 m/s. Perbedaan input Vs untuk model awal disesuaikan dengan karakter formasi. Namun perbedaan sebenarnya hanya dilapisan pertama dan kedua saja yang perbedaannya juga tidak terlalu signifikan karena lapisan Qa dan formasi penyusun antiklin sama-sama terdiri dari batuan sedimen. Untuk input data densitas digunakan  $1800 \text{ Kg/m}^3$  sesuai software. Hal ini dikarenakan mayoritas tanah Surabaya berupa clay, sand, dan gravel. Densitas clay  $1200\text{-}2200 \text{ Kg/m}^3$  dan densitas sand, gravel sebesar  $1400\text{-}2300 \text{ Kg/m}^3$  sehingga nilai  $1800 \text{ Kg/m}^3$  berada di pertengahan. Selajutnya picking pada fundamental mode yaitu amplitudo atau energi terbesar dari gelombang rayleigh. Tahap terakhir melakukan inversi untuk menndapatkan nilai Vs30, Vs dan nilai G.

Untuk mengetahui persebaran nilai Vs30, maka dilakukan pemetaan menggunakan software arcgis. Distribusi hasil pemetaan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 0-30 m (Vs30) di 45 lokasi pada gambar 4.1 menunjukkan 5 zona berdasarkan klasifikasi kecepatan gelombang geser (Vs30), yaitu pada zona 170-200 m/s ; 200-220 m/s ; 230-247 m/s; 270-294 m/s. Klasifikasi ini sangat bersesuaian dengan studi sebelumnya mengenai kondisi geologi Surabaya yang diteliti oleh Mufida dkk pada tahun 2012. Mayoritas lokasi di surabaya berada pada zona dengan Vs30 200-220 m/s. Berdasarkan nilai Vs30, klasifikasi tanah di surabaya masuk dalam kategori kelas C dan D beradsarkan Eurocode8. Kelas C merupakan Endapan sand padat atau setengah padat yang tebal, gravel atau clay padat dengan beberapa puluhan hingga ratusan meter. dan kelas D merupakan endapan tanah berbutir kasar dengan konsentris jelek atau tanah berbutir halus yang mengandung konsentris yang buruk.

Pemodelan kecepatan gelombang geser (Vs) dan modulus geser (G0) dilakukan dengan software pemodelan. Data Vs dan G0 disimpan dalam notepad beserta keterangan nilai kedalaman dan koordinat menggunakan sistem UTM. Selanjutnya input data kedalam software dan membuat batas titik pengukuran, batas yang dibuat akan digunakan untuk pembuatan permukaan model. Proses

berikutnya adalah pembuatan permukaan atas dan bawah sebagai batas untuk pembuatan grid sederhana. Setelah gridding, dilakukan pembuatan lapisan-lapisan untuk model lapisan bumi, kemudian dilakukan well log up scalling pada nilai yang ingin dijadikan model. Tujuan dari well log up scalling adalah agar masukkan yang berupa titik-titik dapat dibaca sebagai data sumur. Tahap terakhir adalah melakukan petrophysical modelling.

Hasil dari pemodelan 3D Vs pada daerah Utara, daerah Timur, dan sebagian daerah Selatan merupakan daerah lempung lunak yang cukup tebal. Hal ini sesuai dengan hasil pemetaan distribusi nilai Vs30 pada gambar 4.1 bahwa daerah tersebut bertanah lunak. Sebaran nilai Vs pemodelan 3D menunjukkan bahwa sisi bagian Barat memiliki nilai Vs yang tinggi daripada sisi bagian Utara. Pada kedalaman >20m nilai Vs mencapai 400-500 m/s dan mengalami penurunan nilai Vs yang cukup signifikan ke arah Utara, dikarenakan daerah utara merupakan formasi alluvium. Terdapat naikan yang ditunjukkan pada gambar 4.2 yang diindikasikan sebagai antiklin lidah. Pada bagian Timur nilai Vs cukup rendah antara 100-250 m/s sampai kedalaman 40 m. Pada sisi Selatan dari arah Timur nilai Vs rendah berkisar antara 100-250 m/s sampai kedalaman 40 m, namun semakin ke Barat nilai Vs semakin tinggi yaitu 300 m/s pada kedalaman 30 m. Dilihat dari model 3D, terdapat 4 lapisan di daerah Surabaya, namun mayoritas hanya terdiri dari 3 lapisan, karena lapisan pertama dengan nilai Vs <100 m/s hanya ada di sisi Utara dan Timur dan lapisan ini sangat tipis pada kedalaman maksimal 5 m. Hasil dari pemodelan modulus geser yang ditunjukkan gambar 4.6 dan gambar 4.7 memperlihatkan bahwa daerah Timur ke Selatan di sisi Timur pada kedalaman 0-30 m nilai G0 sebesar <100-200 Mpa dan ke arah Selatan pada kedalaman 20-30 m nilainya sebesar 250 Mpa. Sedangkan pada daerah Utara sama seperti daerah Timur yaitu <100-200 Mpa dan menipis ke arah Barat pada kedalaman 20-30 m sebesar 350 Mpa. Berdasarkan kedua gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa tren nilai pada modulus geser sama dengan nilai Vs.

Berdasarkan data hasil pengukuran parameter dinamis tanah yang berupa kecepatan gelombang geser (Vs) dan modulus geser (G0) menggunakan metode *multichannel analysis of surface wave* di Surabaya menunjukkan bahwa kondisi lokal atau tapak lokal merupakan daerah bertanah lunak. Sehingga apabila terjadi gempa bumi maka, daerah ini memungkinkan berdampak cukup besar terutama daerah Utara dan Timur yang memiliki nilai Vs rendah. Hal ini selaras dengan (Rasimeng, 2016) yang menyatakan jenis tanah yang lunak memiliki Vs yang rendah, dimana jenis tanah ini biasanya adalah sedimen dengan umur masih muda dan belum terkompaksi. Jika gelombang seismik melewati jenis tanah ini, gelombang tersebut akan mengalami amplifikasi yang cukup besar. Nilai modulus geser semakin tinggi pada peningkatan kedalaman. Berdasarkan hasil pemodelan menunjukkan bahwa daerah antiklin lebih padat daripada daerah Utara dan Timur sehingga daerah ini tidak mudah untuk mengalami pergeseran seperti yang dijelaskan oleh Braja pada buku mekanika tanah. Kegunaan kategori

tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser dapat diilustrasikan oleh kesamaan dalam pola distribusi kerusakan dan kecepatan. Namun, beberapa efek lain (kualitas bangunan, resonansi frekuensi) juga harus dipertimbangkan. Selain itu, kerusakan distribusi tidak dapat diprediksi sepenuhnya dengan hanya menggunakan  $V_s$  dan  $G_0$ . Peta kondisi tanah terperinci berdasarkan distribusi kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ) berada dalam EC8 standar dan parameter geoteknik lainnya sangat penting untuk tidak hanya penyelesaian daerah perkotaan tetapi juga untuk situs seleksi dan studi evaluasi keamanan situs.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Nilai  $V_{s30}$  Surabaya berkisar antara 176-294 m/s. Nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) per lapisannya berkisar antara 93 m/s - 676 m/s. Nilai modulus geser ( $G_0$ ) per lapisan berkisar antara 7 MPa – 823 MPa.
2. Hasil pemetaan  $V_{s30}$  menunjukkan bahwa klasifikasi tanah di Surabaya masuk dalam kategori kelas C dan D berdasarkan Eurocode8. Sedangkan sebaran nilai  $V_s$  dan  $G_0$  yang rendah yaitu 100-200 m/s dan <100-200 Mpa pada hasil pemodelan mengalami penebalan dari arah Barat menuju ke Utara dan dari arah Timur ke Selatan menunjukkan nilai  $V_s$  dan  $G_0$  yang relatif sama yaitu sekitar 100-200 m/s dan <100-200 Mpa pada kedalaman 0-30 m.
3. Nilai  $V_s$  menunjukkan jenis tanah, semakin rendah nilai  $V_s$  maka tanah semakin lunak, sedangkan nilai  $G_0$  ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilainya maka lebih tidak mudah untuk mengalami pergeseran. Berdasarkan hasil pemodelan ditunjukkan bahwa daerah antiklin memiliki nilai  $V_s$  dan  $G_0$  yang lebih tinggi daripada daerah alluvium khususnya daerah Utara, sehingga daerah antiklin lebih tidak berisiko daripada daerah lainnya.

#### **5.2 Saran**

1. Menambahkan parameter dinamis lainnya untuk mendukung hasil penelitian
2. Menggunakan data SPT Surabaya sebagai data pendukung model sintetis. Hal ini untuk menambahkan informasi densitas sesuai dengan litologi batuan pada saat pembuatan model sintetis.
3. Pengukuran dapat dilakukan saat musim kemarau, karena apabila dilakukan saat musim hujan tanah akan cenderung becek dan akan mempengaruhi nilai  $V_s$  yang diukur.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, V., Suharna & S., A. (2011), “*Groud Amplification Mapping Using HVSR Method Horizontal to Vertical Spectral Ratio In Patuk, Gunungkidul, Yogyakarta (Indonesia)*”. *Proceedings JCM Makassar*, The 36th HAGI and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition.
- Ariestianty, Susy K. Raihan Taha, Mohd. Nayan, Khairul Anuar Mohd. Chik, Zamri. (2009), “Penentuan Modulus Geser Tanah Menggunakan Metode Analisis Multi-Channel Gelombang Permukaan”, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik* Vol. 12, No. 2, 185-198, November 2009.
- Badan Pusat Statistik. (2015), “Jawa Timur Dalam Angka. Badan Pusat Statistik”, *BPS Provinsi Jawa Timur*.
- Bahri, Syaeful., Madlazim. (2012), “Pemetaan Topografi, Geofisika, dan Geologi Kota Surabaya”, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya* Vol 2 No 2, hal. 23-28.
- Bessason, B. & Erlingsson, S. (2011), “Shear wave velocity in surface sediments”, *Jökull* 61, 51-64.
- Burger, Robert. (1992), “Exploration Geophysics of the Shallow Surface”, *Pentice-Hall, New Jersey*
- Carvalho, E. C. (2008), “Eurocode 8 General Rules and Seismic Actions”, *Dissemination of Information Workshop : Brussels*.
- Cen. (2004), “Eurocode 8—design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings”, European standard EN 1998-1, December 2004, *European Committee for Standardization : Brussels*.
- Cho, G. C. & Santamarina, J. C. (2001), “Unsaturated particulate materials: particle-level studies”, *J. Geotech. Geoenviron. Engng* 127, No. 1, 84–96
- Dal Moro, G. (2014), “*Surface Wave Analysis for Near Surface Applications*”, *Elsevier Inc.*
- Erik H. Saenger, Stefan M. Schmalholz, Marc-A. Lambert, dkk. (2009), “A passive seismic survey over a gas field: Analysis of Low-Frequency Anomalies”, *Geophysic*, No 74(2), hal. 29-40.
- Evrett, M. E. (2013), “Near-Surface Applied Geophysics 1st ed”, *Cambridge University Press*, New York.
- Foti, S., Lai, C.G., Rix, G.J., Strobbia, C. (2015), “Surface Wave Methods for Near-Surface Site Characterization”, *CRC Press*, Boca Raton.

- Grandis, H. (2009), "Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika". *Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI)*, Jakarta.
- Kanlı, A. I., Tildy, P., Pr'onay, Z., Pinar, A., and Hermann, L. (2006), "Vs30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region", *Geophys. J. Int.*, 165, 223-235, SW Turkey.
- Lin, C.P., Chang, C.C. And Chang, T.S. (2004), "The use of Masw Method in the Assessment of Soil Liquefaction Potential", *Department of Civil Engineering National Chiao Tung University*, Taiwan.
- Lowrie, W. (2007), "Fundamentals of Geophysics 2nd edition", *Cambridge University Press*, 381p. : London
- Luna, R. & Jadi, H. (2000), "Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods", *Preceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure*, St. Louis, December 2000.
- McMechan, G. & Yedlin, M. J. (1981), "Analysis of dispersive waves by wave field transformation", *Geophysics*, 46 (6), 869-874.
- Mufida, A., Santosa, B.J., Warnana, D.D. (2013), "Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor", *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* Vol. 2, no.2., Surabaya.
- Nakamura, Y., Sato, T., & Nishinaga, M. (2000), "Local Site Effect of Kobe Based on Mikrotremor", 3–8.
- Rahmaningtyas, A. P., Purwanto, M. S., & Widodo, A. (2017), "Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor Jalur Sesar Kendeng", *Jurnal Geosaintek*, 3(2), 107.
- Sunardi, B., Arifin, J., Susilanto, P., Ngadmanto, D., Nurdyanto, B., & Shahzad, S. (2012), "Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal", *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 13, 131–137.
- Ólafsdóttir, Elín Ásta. (2014), "Multichannel Analysis of Surface Waves Methods for dispersion analysis of surface wave data", *University Of Iceland*.
- Park, C. B., Miller, R. D. & Xia, J. (1997), "Summary report on surface-wave project at Kansas Geological Survey (KGS)", *Lawrence, KS, Kansas Geological Survey*.



- Park, C. B., Miller, R. D. & Xia, J. (1998). *Imaging dispersion curves of surface waves on multichannel record*. 68th Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, 1377-1380.
- Park, C. B., Miller, R. D. & Xia, J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves*. *Geophysics*, 64 (3), 800-808.
- Park, C. B., Miller, R. D. & Miura, H. (2002). *Optimum field parameters of an MASW survey*. Expanded Abstracts, SEG-J, Tokyo, May 22-23, 2002.
- Park, C.B., Miller, D.R., Xia J., Ivanov J. (2007). *Multichannel Analysis Of Surface Waves (MASW)—active and passive methods*. *The Leading Edge, Kansas Geological Survey, Lawrence : USA*
- R, A.P., Purwanto, M.S., Widodo, A. (2017). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor Jalur Sesar Kendeng. *J. Geosaintek* 3, 107–114.
- Rahmaningtyas, A.P., Widodo,A., Purwanto,M.S. (2017). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor I Jalur Sesar Kendeng.Surabaya.Jurnal Sainsdan seni Vol 6 no.2 Pomits.
- Rasimeng, Syamsurijal dkk. (2016). Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) Menggunakan Metode Seismik Multichannel Analysis Of Surface Wave (Masw) Untuk Menentukan Resiko Bencana Gempabumi Di Kota Bandar Lampung. Prosiding Seminar Nasional Kebencanaan Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia Bandung.
- Sheriff R.E.dan Geldart L.P. (1982), “Exploration seismology : History, theory and data acquisition vol. 1”, *Cambridge University press* : London.
- Riyantiyo,N.D., Widodo,A., Bahri,A.S. (2017), “Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Metode Mikrotremor”. *Jurnal Sainsdan seni* Vol 6 no.2 Pomits, Surabaya.
- Rošer, J. dan Gosar, A. (2010), “Determination of Vs30 for seismic ground classifications in the Ljubljana area, Slovenia”, *Acta Geotechnica Slovenia, Slovenia*
- Ryden, N., Park, C. B., Ulriksen, P. & Miller, R. D. (2004), “Multimodal approach to seismic pavement testing”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130, 636-645.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101. (2005). “Eurocode 8, design of structures for earthquake resistance – part 1: general rules, seismic actions and rules for

- buildings”, *national Annex*. Slovenian institute for standarization, Ljubljana.
- Sitharam TG, Anbazhagan P. (2006), “Measurements of dynamic properties and soil profiling using multichannel analysis of surface waves”, *Invited keynote in the 4th Karl Terzaghi memorial workshops*, Madgaon, Goa; 7 October 2006. p. 6.
- Solihan, A., dan Santosa, B.J. (2009), “Analisis Dispersi Gelombang Rayleigh Struktur Geologi Bawah Permukaan. Studi Kasus : Daerah pasir putih dalegan Gresik”, *Prosiding Seminar Nasional IX Pasca Sarjana*, FIS – 01, Indonesia.
- Sukardi, dkk. (1992), “Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa”, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (PPPG)*, Bandung.
- Sunardi, B., Daryono, Arifin, J., Susilanto, P., Ngadmanto, D., Nurdianto, B., Shahzad, S. (2012), “Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal”, *J. Meteorol. Dan Geofis.* 13, 131–137.
- Tim Pusat Gempa Nasional. (2017), “Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017”, *Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, Indonesia.
- Tokeshi, K., Harutoonian, p., Leo, C. J., Liyanapathirana, S. (2013), “Use of surface waves for geotechnical engineering applications in Discussions Western Sydney, Advances in Geosciences”, *Copernicus Publisher*.
- Tuladhar, R. (2002), “Seismic Microzonation of Greater Bangkok Using Microtremor Observations”, *Thesis Asian Institute of Technology School of Civil Engineering*, Thailand
- Vucetic, M. (1992), “Soil Properties and Seismic Response”, *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*, Balkerna, Rotterdam.
- Xia, J., Miller, R. D. & Park, C. B. (1999), “Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves”, *Geophysics*, 64 (3), 691-700.
- Xia, J., Miller R. D., Park C. B. & Tian G. (2003), “Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes”, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 45-57.

## LAMPIRAN

Foto-foto saat pengambilan data.



***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## RIWAYAT PENULIS



Novien Ghoziana Indanartha biasa dipanggil Vien lahir di Tulungagung, 30 November 1996 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di TK Aisyiah, SDIT Al Badar Tulungagung (2003 – 2009), MTsN 2 Kediri (2009 – 2012), dan MAN 3 Kediri (2012 – 2014). Penulis masuk di Jurusan Teknik Geofisika ITS pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS penulis mendapatkan banyak pengalaman berorganisasi, yaitu staff Internal Affair dan PLT Sekertaris Direktur BSO IECC BEM ITS (2014-2015) dan menjadi Manajer Internal Affair BSO IECC BEM ITS (2016-2017). Beberapa kali mengikuti kegiatan kepanitiaan

seperti ITS Mengajar *for* Indonesia sebuah acara pengabdian di daerah terpencil di Jawa Timur dan Geosphere sebuah acara lomba. Pernah mengikuti pelatihan *Petrophysics Training* (2015) dengan tema “*Fundamental log tool and basic log interpretation*”.

Memiliki pengalaman kerja di BMKG Jakarta (2017) dengan tema “Analisa Vs30 Menggunakan Metode *Multichannel Analysis Surface Wave* (Masw) Sebagai Upaya Mitigasi Gempa Bumi Di Daerah Kulon Progo Bagian Selatan” menggunakan *software* WinMASW. Mengikuti kuliah lapangan terpadu di Surabaya, Jawa Timur (2017) dengan melakukan 5 metode geofisika (seismik refleksi dan refraksi, *microearthquake*, geolistrik *resistivity* 1D dan 2D, gaya berat, magnetik) dan pengamatan geologi, melakukan kuliah lapangan Karang Sambung (2016).